

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING GAS DENGAN *ARDUINO MEGA2560* DAN SENSOR TURBIN STUDI KASUS PT. PERUSAHAAN GAS NEGARA, TBK

SKRIPSI

KEMINATAN TEKNIK KOMPUTER

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:

Andi Mohammad Rizki H.

NIM: 115060900111009



PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

PENGESAHAN

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING GAS DENGAN ARDUINO MEGA2560 DAN
SENSOR TURBIN STUDI KASUS PT. PERUSAHAAN GAS NEGARA, TBK

SKRIPSI

KEMINATAN TEKNIK KOMPUTER

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :

Andi Mohammad Rizki H.

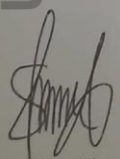
NIM: 115060900111009

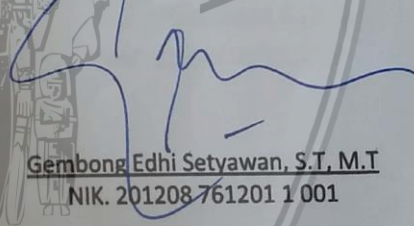
Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
3 Agustus 2018

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

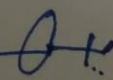
Dosen Pembimbing II


Sabriansyah Rizgika Akbar, S.T, M.Eng
NIP. 19820809 201212 1 004


Gembong Edhi Setyawan, S.T, M.T
NIK. 201208 761201 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Informatika



Eri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D 
NIP. 19710518 200312 1 001

PENGUJI

- Penguji I / Ketua Majelis
Mochammad Hannats Hanafi Ichsan, S.ST, M.T
NIK. 201405 881229 1 001
- Ir. Primantara Hari Trisnawan, M. Sc.
NIP. 19680912 199403 1 002



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Melang, 3 Agustus 2018



Andi Mohammad Rizki H.

NIM: 115060900111009

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

NAMA LENGKAP : ANDI MOHAMMAD RIZKI HATIFI
JENIS KELAMIN : LAKI-LAKI
TTL : JAKARTA, 10 JULI 1993
FAKULTAS : FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS : UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
JURUSAN / PRODI : TEKNIK INFORMATIKA
NIM : 115060900111009
NO HP : 082132194438
ALAMAT DI MALANG : ASRAMA MAHASISWA UNIV. BRAWIJAYA
AGAMA : ISLAM
ANAK KE : 1DARI 2 BERSAUDARA

RIWAYAT PENDIDIKAN

PENDIDIKAN	TEMPAT	TAHUN
TK MINI PAK KASUR	BEKASI	1996
SD TUNAS JAKASAMPURNA	BEKASI	1999
SMP MARSUDIRINI	BEKASI	2005
SMA SANTA MARIA 1	CIREBON	2008
SMAI P.B. SOEDIRMAN 1	BEKASI	2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan laporan tugas akhir Implementasi Sistem Monitoring Gas dengan *Arduino Mega2560* dan Sensor Turbin Studi Kasus PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Sabriansyah R.A, S.T, M.Eng selaku dosen pembimbing I dan Ketua Program Studi Teknik Komputer.
2. Bapak Gembong Edhi Setyawan, S.T, M.T selaku dosen pembimbing II.
3. Bapak Tri Astoto Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika.
4. Ayahanda Andi Julizar Chaeruddin, Ibunda Almh. Fransisca Sekar Endrawati, Adinda Andi Haifa Kania Nadhira dan Gita Rafidah, serta keluarga penulis yang telah memberikan semangat, doa serta dukungannya.
5. Rekan-rekan penulis di Universitas Brawijaya atas dorongan semangat dan bantuan ilmu yang diberikan.
6. Semua pihak yang telah membantu terselesainya laporan ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca secara umum dan penulis secara khusus. Akhir kata penulis ucapkan banyak terima kasih.

Malang, 3 Agustus 2018

Andi Mohammad Rizki
amrizkih@gmail.com

ABSTRAK

Andi Mohammad Rizki, Implementasi Sistem Monitoring Gas dengan Arduino Mega2560 dan Sensor Turbin Studi Kasus PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk

Pembimbing: Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T, M.Eng dan Gembong Edhi Setyawan, S.T, M.T.

Komponen utama dalam sistem deteksi gas adalah *Flow Computer* yang berfungsi menjadi komputer penghitung (kompensasi) aliran gas yang lewat. Dalam implementasinya, *Flow Computer* ini membutuhkan beberapa sensor untuk membaca nilai-nilai yang dibutuhkan pada kompensasi selanjutnya. Umumnya adalah sensor suhu, tekanan, dan aliran gas. Dalam penelitian ini akan dianalisa bagaimana kemampuan akuisisi data yang diterapkan pada sistem deteksi gas menggunakan *Arduino Mega*. *Arduino Mega* adalah mikrokontroler yang memiliki kemampuan *general purpose* (banyak fungsi). Dengan menggunakan *Arduino Mega*, penulis akan mencoba mengganti fungsi *Flow Computer* dengan mikrokontroler. Dengan harapan dapat memberikan hasil yang baik sebagai perbandingan dan solusi permasalahan untuk akuisisi data. Aliran gas yang lewat dibaca menggunakan sensor turbin. Sensor ini berhasil membaca nilai sensor dengan rentang nilai 20-30 mL/s. Pengujian menggunakan motor DC 1200 rpm. Modul komunikasi berhasil melakukan pergantian komunikasi secara tepat dan nilai yang dikirim oleh masing-masing modul komunikasi tidak berbeda secara jauh. Perbedaan terjadi karena perubahan waktu dan kondisi didalam pipa gas, namun nilai tidak berubah secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa baik menggunakan modul komunikasi *Ethernet* ataupun GSM (*Global System for Mobile Communications*), sistem dapat memberikan nilai sensor secara tepat.

Kata kunci: akuisisi data, *arduino*, sistem deteksi gas, *flow computer*

ABSTRACT

The main component in the gas detection system is the Flow Computer which functions as a compensating computer of the passing gas stream. In its implementation, Flow Computer requires several sensors to read the required values on subsequent compensation. Generally are temperature sensors, pressure, and gas flow. In this research will be analyzed how data acquisition capability applied to gas detection system using Arduino Mega. Arduino Mega is a microcontroller that has the capability of general purpose (many functions). By using Arduino Mega, the author will try to replace the Flow Computer function with a microcontroller. In the hope of delivering good results as comparison and solution problems for data acquisition. The passing gas flow is read using a turbine sensor. This sensor successfully read the sensor value with a range of values 20-30 mL / s. Testing using DC 1200 rpm motor. The communication module successfully performs the exact communication switch and the value sent by each communication module does not differ remotely. Differences occur due to changes in time and conditions within the gas pipeline, but the value does not change significantly. This shows that using either Ethernet or GSM communications module (Global System for Mobile Communications), the system can provide the sensor value appropriately.

Keywords: data acquisition, arduino, gas detection system, flow computer

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan masalah	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN	4
2.1 Sistem Distribusi Gas PGN	4
2.1.1 <i>Turbine Meter</i>	6
2.1.2 <i>Temperature Transmitter</i>	7
2.1.3 <i>Pressure Transmitter</i>	7
2.1.4 <i>Flow Computer</i>	8
2.1.5 Akuisisi Data	11
2.2 <i>Arduino Mega</i>	11
2.2.1 <i>Communication Module</i>	13
2.2.2 <i>Sensor Module</i>	16
2.3 Teori Aliran Gas.....	18
BAB 3 METODOLOGI	21
3.1 Studi Literatur	21
3.2 Penyusunan Dasar Teori	21
3.3 Analisis Kebutuhan	22

3.4 Perancangan dan Implementasi	22
3.5 Pengujian dan Analisis	22
3.6 Penulisan Laporan.....	22
BAB 4 ANALISIS KEBUTUHAN	23
4.1 Kebutuhan Fungsional	23
4.1.1 Fitur – Mengukur Aliran Gas	23
4.1.2 Fitur – Mengukur Suhu Gas.....	23
4.1.3 Fitur – Mengukur Tekanan Gas	23
4.1.4 Fitur – Mengirim Data dengan Modul <i>Ethernet</i>	23
4.1.5 Fitur – Mengirim Data dengan Modul GSM.....	24
4.1.6 Fitur – Melakukan <i>Switching</i> Modul Komunikasi.....	24
4.1.7 Fitur – Menampilkan Data Hasil Pengukuran	24
4.1.8 Fitur – Mengirimkan Data secara Berkala.....	24
4.2 Kebutuhan Non-Fungsional	26
4.2.1 <i>Availability</i>	26
4.2.2 <i>Mobility</i>	26
4.2.3 <i>Reliability</i>	26
4.2.4 <i>Safety</i>	26
4.2.5 <i>Security</i>	26
BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	27
5.1 Perancangan Sistem.....	27
5.2 Perancangan Perangkat Lunak	28
5.2.1 Inisialisasi <i>Ethernet</i>	28
5.2.2 <i>Ethernet</i> Mengirim Data.....	28
5.2.3 GSM Mengirim Data.....	29
5.2.4 Membaca Nilai Tekanan.....	30
5.2.5 Membaca Nilai Suhu	31
5.2.6 Membaca Nilai Aliran Gas	32
5.3 Batasan Implementasi	33
5.4 Lingkungan Implementasi.....	34
5.4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak	34
5.4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras	35

5.5 Implementasi Perangkat Keras	36
5.5.1 Alur Simulasi Deteksi Gas	38
5.6 Implementasi Perangkat Lunak	38
5.6.1 Proses Pembacaan Sensor (<i>Sensor Reading</i>)	39
5.6.2 Proses Pengiriman Data Melalui <i>Ethernet</i>	41
5.6.3 Proses Pengiriman Data Melalui <i>GSM</i>	43
5.6.4 Proses Pergantian Modul Komunikasi	44
BAB 6 PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	45
6.1 Strategi Pengujian	45
6.2 Pengujian Sensor Suhu	45
6.2.1 Tujuan Pengujian.....	45
6.2.2 Prosedur Pengujian	45
6.2.3 Pelaksanaan Pengujian.....	45
6.2.4 Hasil Pengujian	45
6.3 Pengujian Sensor Tekanan.....	46
6.3.1 Tujuan Pengujian.....	46
6.3.2 Prosedur Pengujian	46
6.3.3 Pelaksanaan Pengujian.....	46
6.3.4 Hasil Pengujian	46
6.4 Pengujian Sensor Aliran	47
6.4.1 Tujuan Pengujian.....	47
6.4.2 Prosedur Pengujian	47
6.4.3 Pelaksanaan Pengujian.....	47
6.4.4 Hasil Pengujian	47
6.5 Pengujian Pergantian Modul Komunikasi.....	48
6.5.1 Tujuan Pengujian.....	48
6.5.2 Prosedur Pengujian	48
6.5.3 Pelaksanaan Pengujian.....	48
6.5.4 Hasil Pengujian	49
BAB 7 PENUTUP	51
7.1 Kesimpulan.....	51
7.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pelanggan besar PT. PGN	4
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Arduino Mega2560</i>	12
Tabel 2.4 Lampu indikator pada <i>Ethernet Shield</i>	13
Tabel 2.5 Lampu indikator pada <i>GSM Shield</i>	14
Tabel 2.6 Konfigurasi modem pada <i>microcontroller</i>	15
Tabel 4.1 Fitur sistem deteksi gas	24
Tabel 5.1 Kebutuhan pin sistem deteksi gas	36
Tabel 6.1 Hasil percobaan nilai suhu	46
Tabel 6.2 Hasil percobaan nilai tekanan	47
Tabel 6.3 Hasil percobaan nilai aliran	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Akuisisi data pada PGN.....	5
Gambar 2.2 Arsitektur akuisisi data SBU I	6
Gambar 2.3 Stasiun meter dengan <i>Turbine Meter</i>	7
Gambar 2.4 <i>Temperature Transmitter</i> pada PT. PGN.....	7
Gambar 2.5 <i>Pressure Transmitter</i> pada PT. PGN	8
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>Differential Pressure</i>	8
Gambar 2.7 <i>Flow Computer</i> tipe Omni 3000/6000	9
Gambar 2.8 Sistem Automatic Meter Reading yang digunakan PGN.....	10
Gambar 2.9 Akuisisi data pada PGN.....	10
Gambar 2.10 <i>Arduino Mega2560</i>	12
Gambar 2.11 <i>Arduino Ethernet Shield</i>	13
Gambar 2.12 <i>Arduino GSM Shield</i>	14
Gambar 2.13 Turbine Flow Meter EGO-A-7.5Q.....	16
Gambar 2.14 Cara bekerja flow meter	17
Gambar 2.15 MPX10	17
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian	21
Gambar 5.1 Rancangan sistem.....	27
Gambar 5.2 <i>Flowchart</i> Inisialisasi <i>Ethernet</i>	28
Gambar 5.3 <i>Flowchart Ethernet</i> Mengirimkan Data.....	29
Gambar 5.4 <i>Flowchart</i> GSM Mengirim Data.....	30
Gambar 5.5 <i>Flowchart</i> Sensor Tekanan Membaca Data Gas	31
Gambar 5.6 <i>Flowchart</i> Sensor Suhu Membaca Data Gas	32
Gambar 5.7 <i>Flowchart</i> Sensor Aliran Membaca Data Gas.....	33
Gambar 5.8 Tampilan <i>sketch Arduino IDE</i>	34
Gambar 5.9 Tampilan <i>Arduino Serial Monitor</i>	35
Gambar 5.10 Skema rangkaian sistem deteksi gas.....	37
Gambar 5.11 Papan triplek sistem deteksi gas.....	37
Gambar 5.12 Alur Simulasi Sistem	38
Gambar 5.13 Grafik MPX10	39
Gambar 5.17 Alur proses pergantian modul komunikasi	44
Gambar 6.1 Tampilan halaman pembacaan nilai sensor dengan Ethernet.....	49

Gambar 6.2 Tampilan nilai sensor pada halaman web.....	49
Gambar 6.3 Tampilan halaman pembacaan nilai sensor menggunakan GSM	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A <i>Source Code</i>	53
Lampiran B Spesifikasi Alat	61



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dewasa ini kebutuhan masyarakat semakin meningkat dengan diiringi perkembangan teknologi dan industri. Dengan begitu maka jumlah industri yang berkembang akan bertambah banyak. Rata-rata industri di Indonesia masih membutuhkan bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam (PricewaterhouseCoopers, 2010). Kegunaan bahan bakar fosil ini bermacam-macam, baik sebagai bahan bakar untuk menjadi pembangkit listrik dari industri tersebut, ataupun menjadi salah satu bahan untuk kemudian diolah kembali. Sebagai contoh, PT. Pertamina Gas (Pertagas) dan PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk (PGN) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) di Indonesia yang bergerak di bidang minyak dan gas, namun dikhususkan untuk bahan bakar fosil berbentuk gas bukan cairan (*liquid*). PGN berfungsi untuk mendistribusikan hasil olahan gas alam kepada konsumen, dalam hal ini dapat industri besar maupun kecil hingga perumahan yang menggunakan gas tersebut untuk kebutuhan rumah tangga (PT. PGN, 2011).

Dalam menjalankan fungsi dan bisnisnya, PGN membutuhkan instrumen-instrumen baik berbentuk fisik maupun digital. Salah satunya adalah alat ukur aliran gas. PGN biasa mengfungsikan alat ukur ini menjadi stasiun-stasiun meter di beberapa tempat. Stasiun meter ini membaca berapa aliran gas yang mengalir pada pipa baik menuju ataupun keluar dari PGN. Komponen utamanya adalah *Flow Computer* yang berfungsi menjadi komputer penghitung (kompensasi) aliran gas yang lewat (PT. PGN, 2011). Dalam implementasinya, *Flow Computer* ini membutuhkan beberapa sensor untuk membaca nilai-nilai yang dibutuhkan pada kompensasi selanjutnya. Umumnya adalah sensor suhu, tekanan, dan aliran gas.

Penulis mencoba mengangkat permasalahan *Flow Computer* pada PGN dengan mengimplementasikan alat ukur tersebut menggunakan *Arduino Mega*. Berdasarkan pengalaman selama tiga bulan melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada PGN, penulis mendapatkan permasalahan dari akuisisi data. Akuisisi data yang dilakukan PGN adalah melakukan proses pengiriman data yang didapat melalui stasiun-stasiun meter di berbagai wilayah yang kemudian diterima oleh masing-masing *Master Control Station* (MCS) dari Sub Bisnis Unit (SBU). Kemudian MCS dari SBU ini akan mengirim data secara berkala menuju kantor pusat PGN yang berada di Kota Jakarta.

Dalam penelitian ini akan dianalisa bagaimana kemampuan akuisisi data yang diterapkan pada sistem deteksi gas menggunakan *Arduino Mega*. *Arduino Mega* adalah mikrokontroler yang memiliki kemampuan *general purpose* (banyak fungsi) (Zaghloul, 2014). Dengan menggunakan *Arduino Mega*, penulis akan mencoba mengganti fungsi *Flow Computer* dengan mikrokontroler. Dengan harapan dapat memberikan hasil yang baik sebagai perbandingan dan solusi permasalahan untuk akuisisi data pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian tugas akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana implementasi *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* untuk menganalisa aliran gas?
2. Bagaimana hasil akuisisi data nilai aliran, suhu, dan tekanan gas?
3. Bagaimana kemampuan akuisisi data antara *Ethernet Shield* dan *GSM Shield*?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian tugas akhir ini, yaitu:

1. Mengimplementasikan *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* pada sistem deteksi aliran gas.
2. Menganalisis perbandingan kemampuan akuisisi data dengan *Ethernet* dan *GSM Shield*.

1.4 Manfaat

Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai pihak. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Manfaat bagi peneliti, yaitu:

1. Dapat menggali pengetahuan cara membangun sistem deteksi gas yang lebih sederhana dan murah.
2. Dapat menggali pengetahuan bagaimana sistem deteksi gas yang sudah diterapkan selama ini untuk dapat dikembangkan.
3. Mendapatkan kesempatan untuk menerapkan penelitian di kehidupan nyata.

Manfaat bagi instansi PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk, yaitu:

1. Mendapatkan kesempatan untuk membangun sistem deteksi gas yang lebih sederhana dan murah.

Manfaat bagi masyarakat, yaitu:

1. Mendapatkan pengetahuan dari membaca penelitian yang dibuat.
2. Mendapatkan pengetahuan sebagai salah satu/dasar sumber informasi untuk mengembangkan penelitian di waktu yang akan datang.

1.5 Batasan masalah

Agar permasalahan yang dirumuskan dapat lebih terfokus, maka penelitian tugas akhir ini dibatasi dalam hal:

1. Kriteria kemampuan akuisisi data adalah keakuratan dan kecepatan data untuk memonitor hasil analisa data dari sensor.
2. Jenis gas yang di uji coba bukan gas alam seperti yang terjadi pada implementasi nyata di lapangan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan memuat latar belakang permasalahan, identifikasi dan pembatasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN KEPUSTAKAAN

Menjelaskan komponen-komponen utama yang dipakai pada implementasi sistem deteksi gas menggunakan *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk.

BAB III METODOLOGI

Membahas metode yang digunakan dalam penelitian yang terdiri dari studi literatur, perancangan, implementasi, pengujian dan analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV ANALISIS KEBUTUHAN

Membahas analisis kebutuhan sistem deteksi gas menggunakan *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk.

BAB V PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Membahas perancangan dan implementasi untuk pengujian sistem deteksi gas menggunakan *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Memuat proses dan hasil pengujian terhadap hasil penelitian yang telah direalisasikan.

BAB VI PENUTUP

Memuat kesimpulan serta saran yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian metode untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Sistem Distribusi Gas PGN

PGN mengoperasikan jalur pipa distribusi gas sepanjang lebih dari 3.750 km, menyuplai gas bumi ke pembangkit listrik, industri, usaha komersial termasuk restoran, hotel dan rumah sakit, serta rumah tangga di wilayah-wilayah yang paling padat penduduknya di Indonesia. Jalur pipa transmisi gas bumi PGN terdiri dari jaringan pipa bertekanan tinggi sepanjang sekitar 2.160 km yang mengirimkan gas bumi dari sumber gas bumi ke stasiun penerima pembeli.

Untuk mengawasi kegiatan operasional transmisi dan distribusi, PGN membagi area bisnisnya menjadi empat Unit Bisnis Strategis dengan fokus geografis masing-masing:

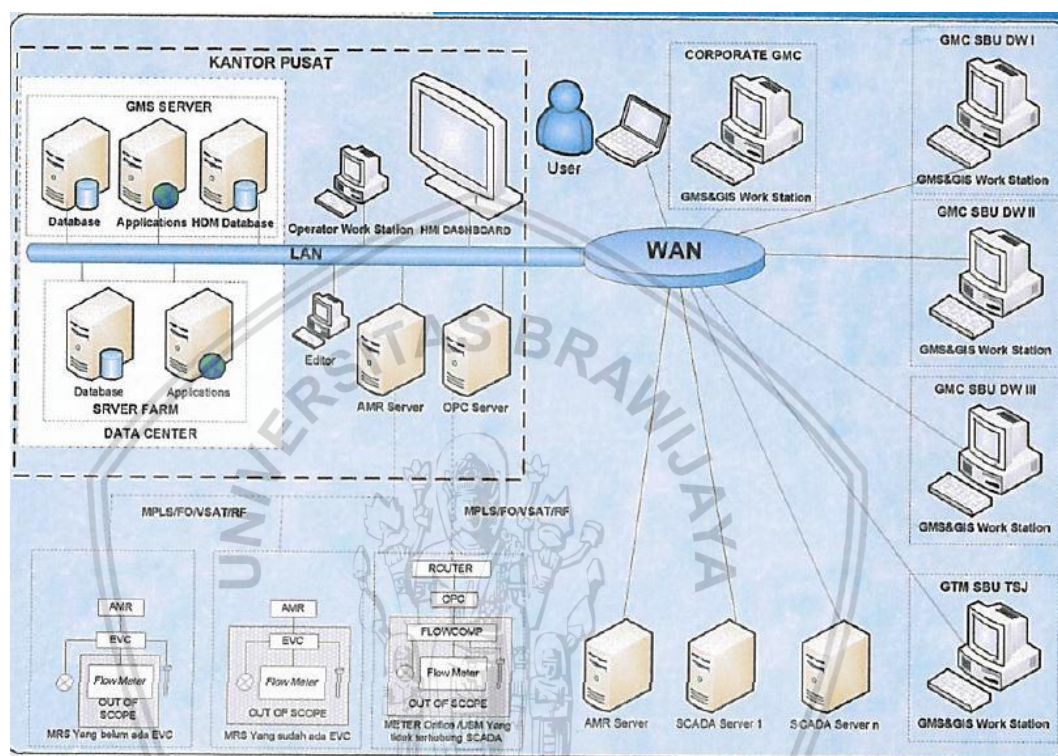
1. **SBU Distribusi Wilayah I (SBU I)**, mencakup area Sumatera Selatan, Lampung hingga Jawa Barat (termasuk Jakarta)
2. **SBU Distribusi Wilayah II (SBU II)**, mencakup area Jawa Timur
3. **SBU Distribusi Wilayah III (SBU III)**, mencakup Sumatera Utara, Riau (Pekanbaru) dan Kepulauan Riau (Batam)
4. **SBU Transmisi (SBU TSJ)**, mencakup jaringan transmisi di Sumatera Selatan dan Jawa

Masing-masing SBU memiliki arsitektur jaringan distribusi gas yang berbeda-beda tergantung dengan pelanggan pada wilayah tersebut. Dalam penelitian ini yang menjadi topik utama adalah SBU I. Berikut adalah contoh pelanggan besar pada SBU I:

Tabel 2.1 Pelanggan besar PT. PGN

No	Nama Perusahaan
1	PT. Aspex Paper Kumbong
2	PT. Indocement (IPP)
3	PT. Asahimas Flatt Glass
4	PT. Wisma Karya Prasetya
5	PT. Pindo Deli 2
6	PT. SK Keris (Indorama)
7	PT. Gajah Tunggal
8	PT. Arwana Nuansa Keramik
9	PT. Styrimdo Mono Indonesia
10	PT. Mitsubishi Chemical
11	PT. Chandra Asri Petrochemical
12	PT. Gunung Garuda
13	PT. Bekasi Power
14	PT. Mulia Glass

15	PT. Mulia Keramik
16	PLN Muara Tawar
17	PLN Cilegon
18	PLN Tanjung Priok
19	Cikarang Listrindo
20	PLN Talang Duku

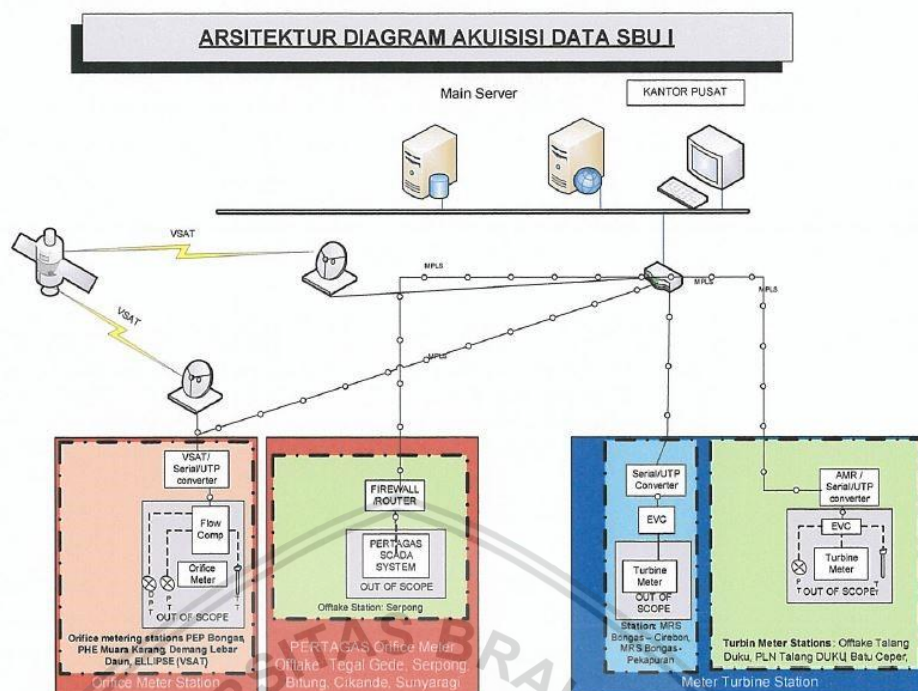


Gambar 2.1 Akuisisi data pada PGN

Setiap SBU memiliki jalur komunikasi masing-masing dengan stasiun pengukur flow gas dan kantor pusat PGN sebagai pengumpul data akuisisi seperti pada gambar 2.1. Komunikasi data yang digunakan bermacam-macam tergantung dengan kondisi lapangan stasiun dan SBU. Berikut ini beberapa tipe komunikasi yang digunakan:

1. VSAT
2. Multiprotocol Label Switching (MPLS)
3. Fiber Optic (FO)
4. General Packet Radio Service (GPRS)

Sebagai contoh pada SBU III terdapat stasiun pengukur flow gas di daerah Batam, Panaran-Dalle, menggunakan VSAT dan Cikarang Listrindo pada SBU I menggunakan komunikasi *Fiber Optic* seperti pada gambar 2.2.



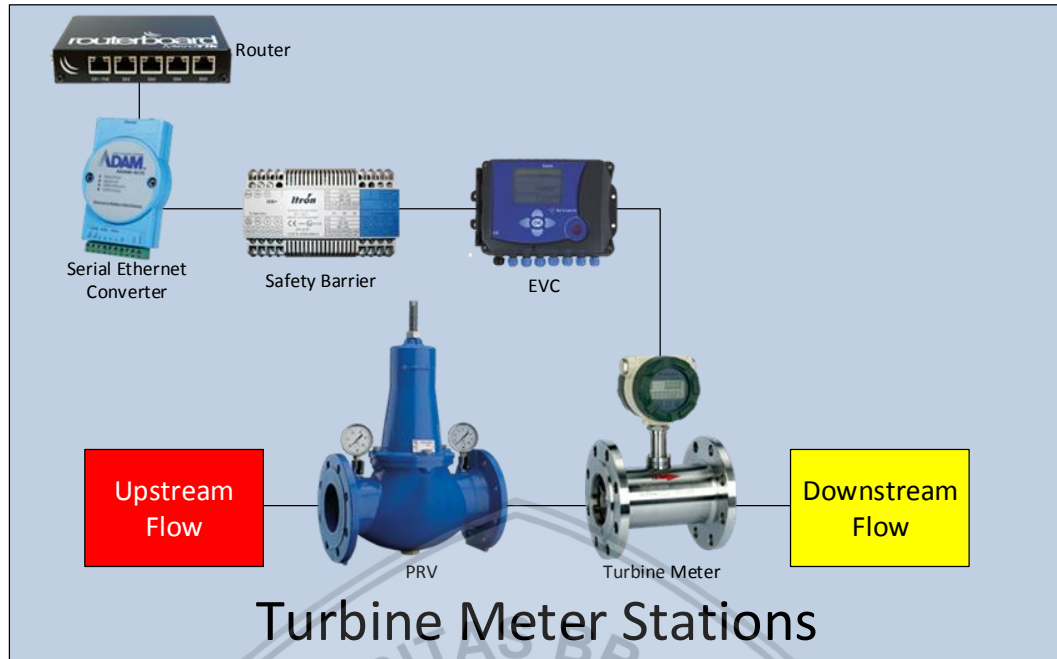
Gambar 2.2 Arsitektur akuisisi data SBU I

2.1.1 Turbine Meter

Meteran gas turbin mengukur kuantitas gas berdasar pada prinsip aliran. Gas mengalir melalui *flow conditioner* yang mendistribusikan aliran secara proporsional ke slot *annular* dan menuju ke roda turbin. Motor turbin didorong oleh aliran gas, dan kecepatan sudut rotasi sebanding dengan laju aliran gas.

Konsumsi energi, yang dianggap sebagai kehilangan tekanan, berkurang seminimal mungkin karena penerapan *flow conditioner*, *ball bearing* presisi tinggi dan toleransi yang paling akurat dari semua bagian part pengukuran.

Gerakan berputar dari roda turbin ditransfer secara mekanis melauai roda gigi, aliran gas dan *magnetic coupling*, ke unit indeks, yang dipasang di bagian atas meteran, dan menunjukkan volume operasi pada penghitung tersebut.



Gambar 2.3 Stasiun meter dengan *Turbine Meter*

2.1.2 Temperature Transmitter

Sebuah *temperature transmitter* seperti pada Gambar 2.4 adalah *electrical instrument* dengan *interface* sensor suhu (misalnya *thermocouple*, RTD, atau *thermistor*) untuk pengukuran atau kontrol perangkat (misalnya PLC, DCS, PC, *data logger*, *display*, dan lainnya). Biasanya, pemancar suhu mengisolasi, memperkuat, memfilter *noise*, *linearize*, dan mengubah sinyal input dari sensor kemudian mengirim (transmit) sinyal keluaran ke perangkat kontrol (PT. PGN, 2011).



Gambar 2.4 *Temperature Transmitter* pada PT. PGN

2.1.3 Pressure Transmitter

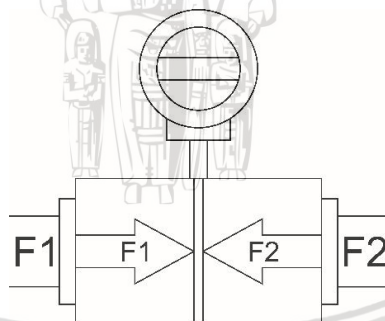
Pressure transmitter seperti pada Gambar 2.5 adalah *transducer* yang mengubah tekanan menjadi sinyal listrik analog. Meskipun ada berbagai jenis *transducer* tekanan, salah satu yang paling umum adalah transducer *strain-gauge*.

Konversi tekanan menjadi sinyal listrik dicapai oleh deformasi fisik *strain-gauge* yang terikat ke dalam diafragma dari *transduser* dan kabel ke dalam konfigurasi *wheatstone bridge*. Tekanan yang diterapkan pada *transduser* menghasilkan defleksi diafragma yang meneruskan *strain* ke *gauge*. *Strain* ini akan menghasilkan perubahan hambatan listrik yang sebanding dengan tekanan (PT. PGN, 2011).



Gambar 2.5 Pressure Transmitter pada PT. PGN

Peningkatan tekanan diferensial akan terjadi jika P1 menjadi lebih kecil atau jika P2 menjadi lebih besar. Pada Gambar 2.6, penurunan tekanan diferensial akan terjadi jika P1 menjadi lebih besar atau lebih kecil jika P2 menjadi. Pengukuran tekanan diferensial tidak peduli apakah tekanan terendah berada pada vakum, atmosfer atau tekanan lainnya. Hal ini hanya terbatas pada perbedaan antara dua tekanan yang diukur. Peningkatan diferensial adalah hasil dari meningkat atau menurunnya salah satu tekanan.



Gambar 2.6 Ilustrasi Differential Pressure

2.1.4 Flow Computer

Flow Computer digunakan oleh banyak perusahaan penghasil minyak dan gas untuk mengkalkulasi seberapa besar aliran yang lewat baik dalam bentuk cair maupun gas. Alat ini dapat menerima berbagai macam sensor dengan masukan analog atau digital. Sensor-sensor yang biasa dipakai kebanyakan adalah suhu, tekanan, dan aliran (PT. PGN, 2011).

Flow computer melakukan fungsi-fungsi berikut:

1. Menghitung aliran *volumetric*
2. Menyimpan *log data* yang telah diukur dan dihitung

3. Mengirim data *real time* dan *historical* ke pusat
4. Melakukan kontrol otomatis dari situs berdasarkan nilai yang diukur

Konfigurasi fisik dari *flow computer* terdiri dari sebuah subsistem I/O dengan penyimpanan data dan komputasi. Sebagian besar *flow computer* adalah flash memory-based, sehingga firmware bisa diperbarui untuk mengakomodasi aplikasi dan kebutuhan masa depan.

Bagian komunikasi memungkinkan data operasional dan *custody transfer* (istilah transaksi yang melibatkan pemindahan substansi fisik dari satu operator ke operator lainnya dalam industri minyak dan gas) dikirim ke lokasi pusat.

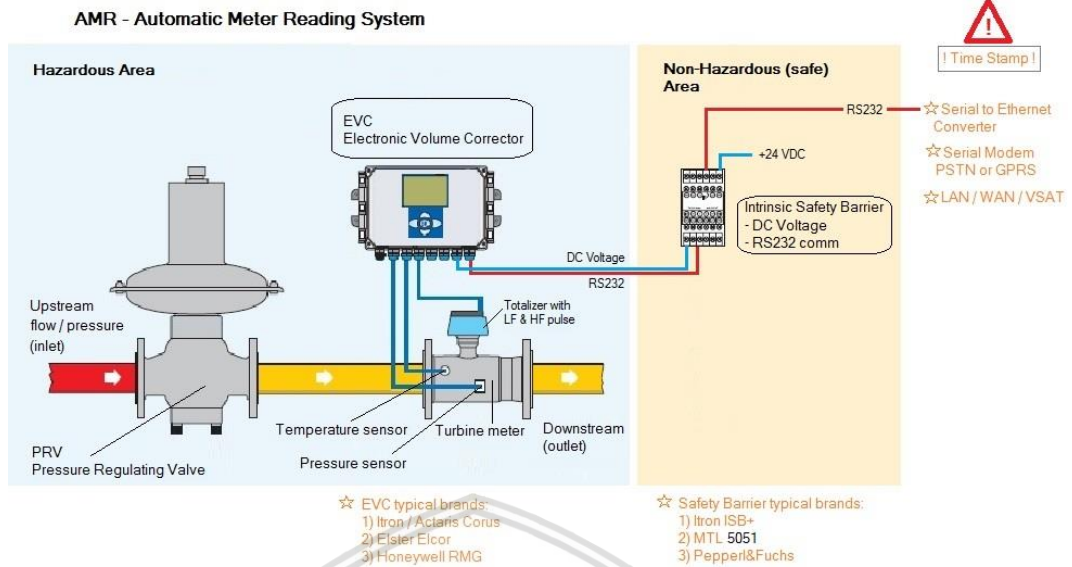


Gambar 2.7 *Flow Computer* tipe Omni 3000/6000

Pada proses pengamatan oleh sensor, masing-masing komponen akan melakukan pengamatan terhadap kondisi pipa gas. Kemudian sensor dihubungkan dengan kabel "4-20 mA". Kabel 4-20 mA adalah kabel yang memberikan sinyal analog sehingga keakuratan nilai sensor dapat makin tinggi. *Flow Computer* akan mengkalkulasi nilai-nilai yang diberikan oleh sensor menjadi satuan dalam *British Thermal Unit* (BTU). Nilai BTU ini yang kemudian menjadi patokan jumlah penjualan dan biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen.

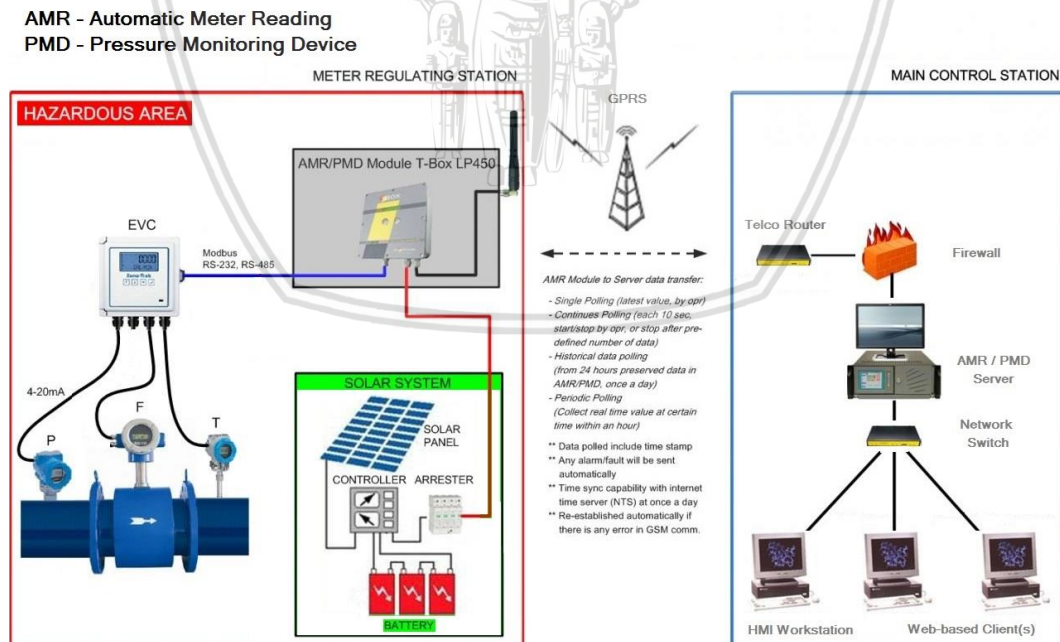
Dalam proses pengamatan dan konversi, *Flow Computer* akan mengirimkan data sensor serta nilai BTU menggunakan modul komunikasi kepada *Master Control Station* (MCS). Modul komunikasi yang digunakan ada berbagai macam, sebagai contoh yang digunakan oleh PT. PGN adalah *Fiber Optic*, *GSM*, *VSAT*, dan *Ethernet*. Penggunaan modul komunikasi ini bergantung dengan kondisi lingkungan dari *Metering Station* milik PGN (PT. PGN, 2011).

Pertama-tama sensor akan mengamati kondisi pipa gas. Kemudian dikirimkan menggunakan kabel 4-20 mA menuju *Flow Computer*. Nilai yang diterima *Flow Computer* kemudian dikonversi menjadi nilai BTU. Modul komunikasi akan mengirimkan data-data tersebut menuju MCS yang akan diteruskan ke kantor pusat di Jakarta. Gambar dibawah menunjukkan contoh sistem pengukuran pada PGN.



Gambar 2.8 Sistem Automatic Meter Reading yang digunakan PGN

Gambar 2.8 menerangkan bahwa pengukuran gas yang dilakukan PGN menggunakan tiga komponen pembaca, yaitu sensor suhu, tekanan, dan gas. Lalu data dari tiga sensor tersebut dikalkulasi ulang oleh EVC (*Electronic Volume Corrector*) sebagai pengganti *Flow Computer*.



Gambar 2.9 Akuisisi data pada PGN

Gambar 2.9 menerangkan akuisisi data setelah hasil pengukuran sudah dikompensasikan atau dihitung ulang oleh EVC/*Flow Computer*. Seperti yang sudah diterangkan pada sub bab Distribusi Gas PGN, modul komunikasi yang digunakan dapat bermacam-macam tergantung letak geografis dan kesiapan lokasi. Sesuai dengan gambar diatas, yang digunakan sebagai modul komunikasi adalah GPRS.

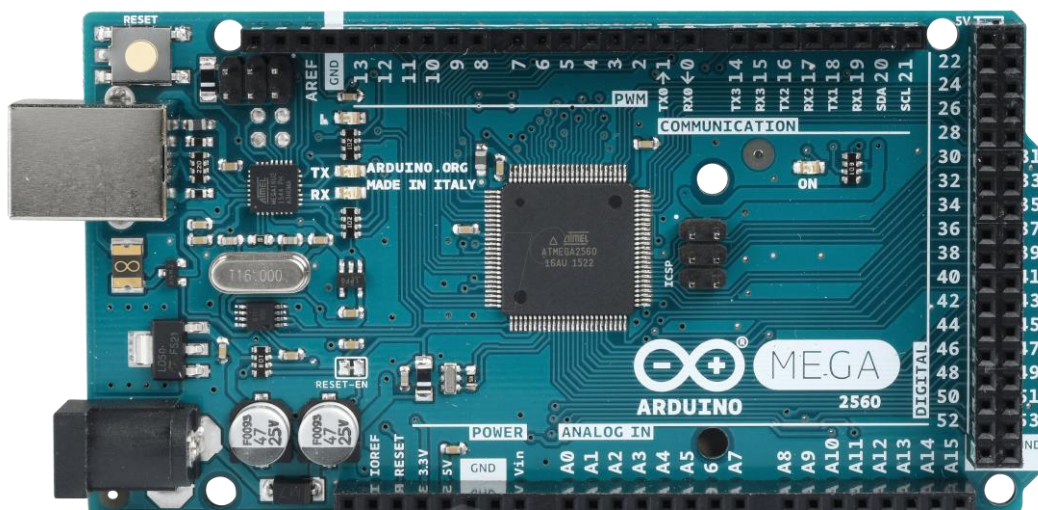
2.1.5 Akuisisi Data

Akuisisi data dalam bahasa Inggris *Data Acquisition* disingkat DAQ adalah proses *sampling* dari kondisi dunia nyata fisik dan konversi dari sampel yang dihasilkan menjadi nilai numerik digital yang dapat dimanipulasi oleh komputer. akuisisi data dan sistem akuisisi data (disingkat dengan akronim DAS) biasanya melibatkan konversi bentuk gelombang analog menjadi nilai digital untuk diproses. Komponen dari sistem akuisisi data meliputi: Sensor yang mengkonversi parameter fisik untuk sinyal-sinyal listrik. Sirkuit pengkondisian sinyal untuk mengubah sinyal sensor menjadi bentuk yang dapat dikonversikan ke nilai digital. Konverter analog-ke-digital, yang mengkonversi sinyal sensor dikondisikan dengan nilai-nilai digital. Aplikasi akuisisi Data dikendalikan oleh program *software* yang dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman berbagai tujuan umum seperti BASIC, C, Fortran, Java, Lisp, Pascal. Dalam pelaksanaan akuisisi data oleh PT PGN, digunakan beberapa perangkat pendukung seperti SCADA, OPC, serta beberapa perangkat lunak seperti *Cogent Data Hub* dan *Kepware*.

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sistem kendali industri yang memberikan kontrol peralatan secara *remote*. Pada perusahaan gas, sistem ini digunakan untuk mengirimkan status operasi volume aliran, tekanan, suhu, dan lainnya, dari *main/remote station* dan *valve*, ke fasilitas kontrol pusat (PT. PGN, 2011).

2.2 Arduino Mega

Arduino Mega adalah board berbasis *microcontroller ATmega2560*. Board ini memiliki 54 digital *input/output* pin (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 pin analog, 16 Mhz osilator Kristal serta tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung *microcontroller*. Untuk menuliskan program ke dalam *Arduino Mega* digunakan FTDI. Bentuk dari *Arduino Mega* ditunjukkan dalam Gambar 2.10 dan Spesifikasi dari *microcontroller arduino* dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Arduino, n.d.).



Gambar 2.10 Arduino Mega2560

Tabel 2.2 Spesifikasi *Arduino Mega2560*

Microcontroller	ATmega2560
Tegangan	5V
Tegangan Masukan	7-12V
Batas Tegangan	6-20V
Pin Digital	54
Pin Analog	16
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Arduino Mega 2560 memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

1. *Serial*: Pin yang digunakan untuk komunikasi *Serial* adalah Pin 0 sebagai TX dan pin 1 sebagai RX
2. *I2C*: pin yang digunakan untuk komunikasi *I2C* adalah pin SDA(20) dan SDL (21).
3. *Pin Analog*: *Arduino Mega* memiliki 16 pin analog yaitu A0, A1, A2, A3, A4, dan A15.
4. *Pin Digital*: *Arduino Mega* memiliki 54 pin digital yaitu pin 0 sampai pin 53.
5. *SPI*: Pin yang digunakan adalah 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).

6. PWM: *Arduino Mega* sudah memiliki fitur PWM yaitu menggunakan pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 dengan format 8 bit.

2.2.1 Communication Module

Modul Komunikasi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *Arduino Ethernet Shield* dan *Arduino GPRS Shield*. *Primary* komunikasi adalah *Ethernet* dan sebagai *Secondary* adalah *GPRS*.

2.2.1.1 Ethernet Shield

Ethernet shield pada Gambar 2.11 merupakan NIC (*Network Interface Card*) bagi *arduino* sehingga data data dikirim atau diterima dari jaringan komputer. Pengembang *shield* ini menyediakan *library* sehingga memudahkan *programmer* untuk membuat aplikasi *real-time monitoring*. Komunikasi antara *chip processor* di *board Arduino* Uni (*master*) dengan *processor* di *board ethernet* (*slave*) berupa bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Empat sinyal SPI adalah *Master In Slave Out* (MISO), *Master Out Serial In* (MOSI), *Serial Clock* (SCLK) dan *Chip Select* (CS). Pada *master* dan *slave* terdapat *register serial shift* yang mengirimkan *byte* melalui sinyal MOSI (*master* → *slave*) dan MISO (*slave* → *master*) (Arduino, n.d.).



Gambar 2.11 *Arduino Ethernet Shield*

Tabel 2.3 Lampu indikator pada *Ethernet Shield*

LED	Kondisi	Fungsi
PWR	OFF	Power OFF
	ON	Power ON
LINK	Active low	Kondisi baik untuk 10/100M
	ON	Kondisi <i>link</i> OK
	Berkedip	Kondisi TX dan RX aktif

100M	<i>Active low</i>	Kecepatan data 100mbps
FULLD	<i>Active low</i>	Mode <i>Full-Duplex</i> aktif
COLL	<i>Active low</i>	Terjadi <i>collision</i>
RX	<i>Active low</i>	Melakukan <i>receive</i> /menerima
TX	<i>Active low</i>	Melakukan <i>transmit</i> /mengirim

2.2.1.2 GSM/GPRS/GPS Shield

Arduino GSM Shield pada Gambar 2.12 yang memungkinkan sebuah *board Arduino* untuk terhubung dengan internet. *Shield* ini dibuat berdasarkan *ethernet* chip *Wiznet W5100*. *Wiznet W5100* menyediakan sebuah jaringan dengan kemampuan TCP dan UDP. *GSM Shield* atau *GPRS (General Packet Radio Service) Shield* yang merupakan produk untuk keperluan nirkabel *Arduino*. *GPRS Shield* beroperasi pada frekuensi GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz untuk keperluan pengiriman suara, sms, dan data dengan konsumsi data yang rendah. *Shield* ini dikendalikan menggunakan perintah AT (DFRobot, n.d.).



Gambar 2.12 *Arduino GSM Shield*

Tabel 2.4 Lampu indikator pada *GSM Shield*

LED	Kondisi	Fungsi
Status	OFF	Power OFF
	ON	Power ON
Netlight	OFF	SIM900 tidak berfungsi
	Berkedip sedang	SIM900 tidak terkoneksi
	Berkedip lama	SIM900 terkoneksi
	Berkedip cepat	Komunikasi GPRS

Berikut merupakan spesifikasi Modul GPS/GPRS/GSM DFRobot v.3.0:

1. Catu daya: 6-12V
2. Konsumsi daya rendah (100mA@7v - GSM mode)
3. Bekerja pada *Quad-Band* 850/900/1800/1900MHz
4. GPRS *multi-slot class* 10
5. Mendukung teknologi GPS untuk navigasi satelit
6. Terdapat *switch control* USB/*Arduino*
7. Ukuran : 81x70mm

Beberapa AT command atau AT response penting untuk mengoperasikan modem ini adalah :

1. AT+CMGR, untuk membaca SMS
2. AT+CMGS, untuk mengirim SMS
3. AT+CMGD, untuk menghapus SMS
4. +CMTI, indikator ada SMS masuk
5. ATE0, untuk meniadakan fungsi echo pada modul
6. AT+CMTI, untuk mengkonfigurasi modul agar mendukung perintah teks.
7. AT+IPR, untuk mengatur baud rate komunikasi serial

Sebelum digunakan oleh mikrokontroler, setting modem harus dikonfigurasi. Konfigurasi modem pada mikrokontroler ditunjukkan dalam

Tabel 2.5 Konfigurasi modem pada *microcontroller*

Parameter	Nilai	AT Command	Penjelasan
<i>Baut rate</i>	9600	AT+IPR=9600	Mengubah kecepatan link serial modem menjadi 9600 bps. Kecepatan link serial bawaan dari produsen adalah 115200 bps.
<i>Flow control</i>	None	AT+IFC=0,0	Tidak menggunakan <i>flow control</i> atau sinyal untuk tunggu
<i>Echo</i>	Off	ATE0	Menonaktifkan <i>echo</i> atau karakter berulang.
<i>Message format</i>	Text	AT+CMGF=1	SMS menggunakan mode teks. Mode 0 adalah mode PDU sedangkan mode 1 adalah mode teks

Setelah dilakukan setting modem, konfigurasi disimpan dengan menggunakan perintah AT+W.

2.2.2 Sensor Module

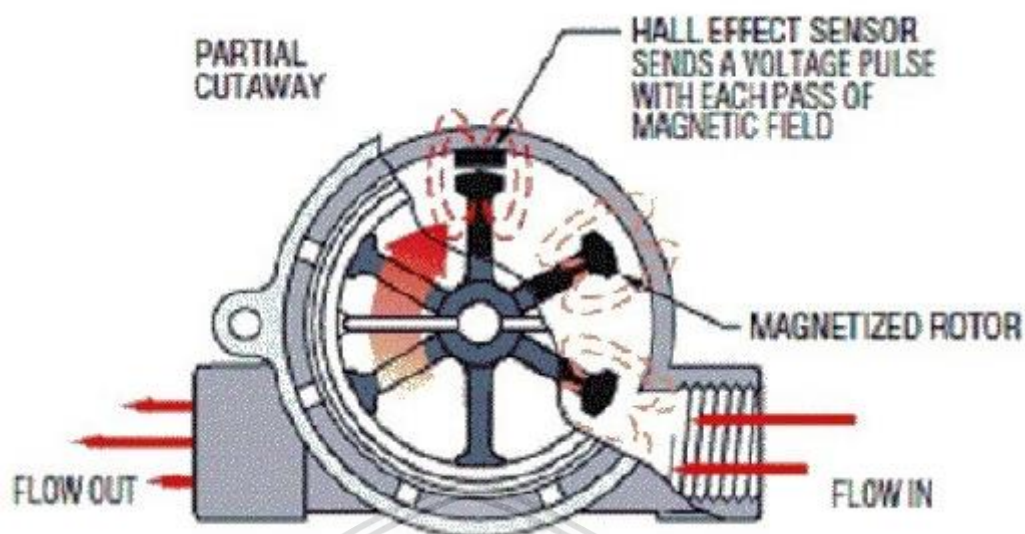
Dalam melakukan penelitian ini, dibutuhkan tiga sensor utama. Sensor tersebut mengukur aliran, tekanan, dan suhu dari gas. Ketiga sensor ini akan dihubungkan dengan pin dari *Arduino Mega* yang disiapkan sebagai masukan (*input*) untuk *Flow Computer*. Implementasi sensor ini akan didesain sesuai dengan sistem yang dipakai PGN. Namun, ada beberapa perbedaan dari tingkat kapabilitas sensor serta kemampuan maksimal nilai yang dibaca oleh sensor. Secara logika sistem, yang digunakan pada PGN hampir seluruhnya menggunakan tiga sensor utama ini.

2.2.2.1 Flow Sensor

Flow sensor atau *flow meter* pada Gambar 2.13 dibutuhkan untuk mengukur jumlah kuantitas gas yang lewat pada selubung pipa gas. Terdapat dua jenis *flow meter* yang digunakan pada umumnya seperti pada Gambar 2.14, yaitu tipe *Orifice* dan *Turbine*. Dalam penelitian ini, *flow meter* yang digunakan adalah *Turbine Flow Meter* EGO-A-7.5-Q. *Flow meter* ini dapat mendeteksi aliran sebesar 0,5 – 30 L/menit-nya. Serta dapat bekerja pada tekanan dengan maksimal sebesar 1,75 MPa. *Flow meter* ini membutuhkan catu daya sebesar 5V. Sedangkan keluaran yang diberikan oleh *flow meter* ini berupa satu digital *input* dan analog *input*. Masing-masing keluaran ini berfungsi sebagai digital *pulse* untuk aliran (L/menit) dan suhu (EGO, n.d.).



Gambar 2.13 Turbine Flow Meter EGO-A-7.5Q

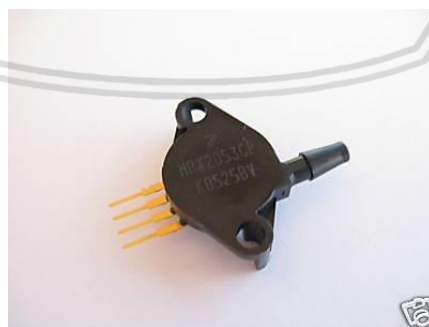


Gambar 2.14 Cara bekerja flow meter

2.2.2.2 Temperature dan Pressure Sensor

Pada penelitian ini, sensor yang digunakan untuk membaca suhu dan tekanan adalah MPX10 dan LM35 seperti pada Gambar 2.15. Sensor ini mempunyai kemampuan untuk membaca suhu yang sudah dikompensasi (*temperature compensated*). Tekanan yang dibaca pun sudah dikalibrasi (Freescale Semiconductor, n.d.). Dari datasheet yang diberikan oleh perusahaan yang membuat sensor ini disampaikan bahwa banyak penerapan aplikasi yang dilakukan oleh sensor MPX10. Sebagai contoh, yaitu: kontrol mesin pompa, robotika, deteksi ketinggian, diagnosa medis, dan pengukuran tekanan darah.

Sensor ini bekerja untuk suhu pada rentang 0 – 85 °C. Sedangkan untuk tekanan bekerja pada rentang 0 – 50 kPa (0 – 7,25 psi).



Gambar 2.15 MPX10

2.3 Teori Aliran Gas

Dua rujukan matematis dalam Teori Aliran Gas ini adalah Persamaan *Euler* dan Persamaan *Bernoulli*. Teori yang digunakan adalah garis besar pedoman dasar di bidang instrumentasi tentang penerapan perhitungan aliran -yang terkompensasi oleh tekanan dan suhu (*Pressure and Temperature Flow Compensation*) (International Energy Agency, 2005).

Euler, tentang *Dynamic Pressure* dengan kecepatan aliran di bawah kecepatan suara ($V < 0.3 \text{ Mach}$):

$$P_{\text{total}} = P_{\text{static}} + \rho \frac{1}{2} V^2 \quad (2.1)$$

Dimana P = Pressure

ρ = rho (Density)

V = Velocity (Kecepatan)

Untuk 2 titik ukur tekanan di sepanjang saluran lurus, P_{total} adalah hasil penjumlahan masing-masing titik ukur tersebut. Nilai P_{total} sangat dipengaruhi oleh nilai *Dynamic Pressure* ($\rho \frac{1}{2} V^2$) yang mana memiliki komponen *Velocity* (V) di dalamnya.

Persamaan 2 titik ukur tekanan ini yang adalah:

$$P_{\text{total}} = P_1 + \left(\rho \frac{1}{2} V_1^2\right) + P_2 + \left(\rho \frac{1}{2} V_2^2\right) \quad (2.2)$$

Akan dapat dianggap sebagai persamaan:

$$P_1 + \left(\rho \frac{1}{2} V_1^2\right) = P_2 + \left(\rho \frac{1}{2} V_2^2\right)$$

Sepanjang variabel *Velocity* adalah pengaruh yang utama (dominan). Sehingga:

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \rho \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

Catatan:

$P_1 - P_2 = \Delta P$ = adalah *Differential Pressure*

Dalam kasus ini, nilai ρ dianggap =1 (diabaikan), mengingat tidak adanya *Analyzing Transmitter* yang berperan sebagai *Density Meter*, maka:

$$\Delta P = \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (2.3)$$

Bernoulli, tentang *Volumetric Flow Rate*:

Bahwa *Volumetric Flow Rate* selalu tetap di sepanjang saluran yang lurus

$$Q = V \times A = \text{constant}$$

Dimana Q = Flow Rate
 A = Area (luas)
 V = Velocity (kecepatan)

Sehingga dapat dijabarkan:

$$Q = V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$$

Sehingga $V_1 = V_2 \times A_2/A_1$ sedangkan $A = \pi r^2 = \pi D^2/4$

$$V_1 = V_2 \times \frac{(\pi D_2^2/4)}{(\pi D_1^2/4)}$$

$$V_1 = V_2 \times \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

Ulangan dari sebelumnya:

$$\Delta P = \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} (V_2^2 - (V_2 \frac{D_2^2}{D_1^2})^2)$$

$$2 \Delta P = V_2^2 - \left(\frac{V_2^2 D_2^4}{D_1^4} \right)$$

$$2 \Delta P = V_2^2 \left(1 - \frac{D_2^4}{D_1^4} \right)$$

$$V_2 = \sqrt{2 \Delta P \left(\frac{1}{1 - \frac{D_2^4}{D_1^4}} \right)}$$

$$Q = V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$$

$$Q = V_2 \times A_2$$

Adapun penghitungan akan mendekati ideal dan sah, dengan adanya PT dan TT yang berperan sebagai kompensasi perhitungan. Secara empiris dari bidang instrumentasi, persamaan proses penghitungan *flow rate* dengan kompensasi tekanan dan suhu (*Pressure and Temperature Flow Compensation*) adalah sbb:

Volumetric Flow Rate

$$Q_v = K \sqrt{\Delta P \left(\frac{1}{P_i T_i} \right)} \quad (2.4)$$

Mass Flow Rate

$$Q_m = K \sqrt{\Delta P \left(\frac{P_I}{T_I} \right)} \quad (2.5)$$

Dimana:

$$\Delta P = \text{kg/cm}^2$$

P_I = Indikator pada P_T , dalam $\text{kg/cm}^2 A$ (*absolute pressure* = $\text{kgf/cm}^2 G$ + 1.033)

T_I = Indikator pada T_T , dalam degK (ideal Kelvin = degC + 273)

$$Q_v = \text{m}^3/\text{s}$$

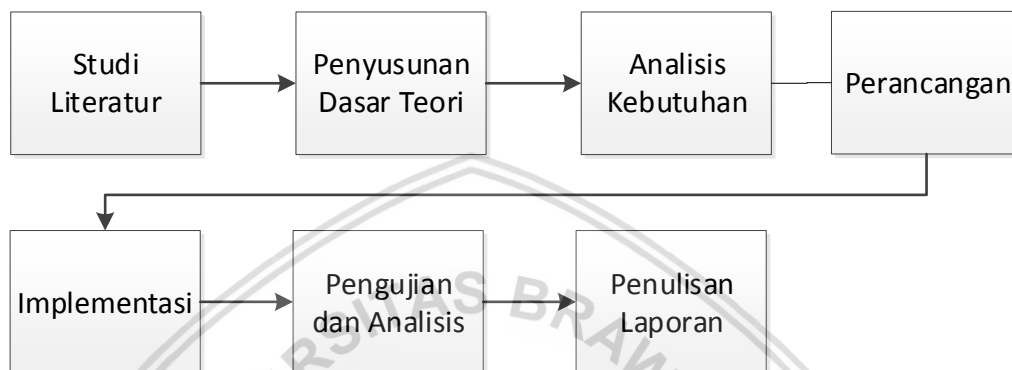
$$Q_m = \text{kg/s}$$

K = untuk kasus ini diabaikan (=1)



BAB 3 METODOLOGI

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir seperti pada Gambar 3.1 , yaitu studi literatur, penyusunan dasar teori, analisis dan perancangan simulasi, implementasi, analisis dan pengujian dari sistem yang akan dibuat, hingga penulisan laporan. Kesimpulan dan saran disertakan sebagai catatan atas kemampuan dari penelitian ini dan kemungkinan arah pengembangan penelitian selanjutnya.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur mempelajari mengenai penjelasan dasar teori yang digunakan untuk menunjang penulisan skripsi. Teori-teori pendukung tersebut diperoleh dari buku, jurnal, *e-book*, dan dokumentasi *project*.

3.2 Penyusunan Dasar Teori

Penyusunan dasar teori dilakukan setelah mendapatkan referensi yang tepat untuk mendukung penulisan penelitian ini. Teori-teori pendukung tersebut meliputi:

1. Sistem Distribusi Gas PGN

Dalam sub bab landasan pustaka ini dijelaskan tentang Sistem Distribusi Gas pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk. Pada implementasinya dimana PGN menggunakan dua jenis alat ukur untuk aliran gas, yaitu *Orifice* dan *Turbine*. Serta menggunakan *Flow Computer* sebagai kompensasi untuk nilai yang didapat oleh alat ukur diatas. Yang kemudian akan diakuisisi oleh masing-masing Sub Unit Bisnis (SBU) sebelum dikirimkan menuju kantor pusat PGN.

2. *Arduino Mega*

Dalam sub bab landasan pustaka ini dijelaskan tentang *Arduino Mega* yang digunakan sebagai pengganti *Flow Computer* beserta sensor dan perangkat modul komunikasinya. Perangkat sensor yang digunakan

terdiri dari tiga macam, yaitu sensor aliran, sensor suhu, dan sensor tekanan. Sedangkan modul komunikasi yang digunakan ada dua macam, yaitu *Ethernet Shield* (RJ-45) dan *GSM Shield*. *Ethernet Shield* sebagai modul komunikasi primer dan *GSM Shield* sebagai modul komunikasi sekunder.

3. Teori Aliran Gas

Dalam sub bab landasan pustaka ini dijelaskan tentang teori aliran gas yang nantinya digunakan sebagai kompensasi untuk nilai yang dikeluarkan oleh sensor. Dua teori yang umum digunakan adalah *Volumetric Flow Rate* dan *Mass Flow Rate*.

3.3 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan bertujuan untuk mendapatkan semua kebutuhan yang diperlukan oleh sistem yang akan dibangun dan diuji. Analisis kebutuhan dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan sistem dan siapa saja yang terlibat di dalamnya.

3.4 Perancangan dan Implementasi

Perancangan simulasi pada penelitian ini bertujuan untuk membangun implementasi *Arduino Mega* sebagai pengganti *Flow Computer* pada PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk. Perancangan ini menggunakan tiga modul sensor dan dua modul komunikasi. Untuk melihat apakah perancangan simulasi dapat bekerja dengan benar perlu dilakukan implementasi. Implementasi dilakukan untuk mewujudkan analisis kemampuan komunikasi data dari skematik yang ada di perancangan.

3.5 Pengujian dan Analisis

Pada pengujian akan dilakukan percobaan-percobaan yang menguji bagaimana hasil kemampuan komunikasi data sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan.

3.6 Penulisan Laporan

Tahapan terakhir pada metodologi penelitian ini yaitu pembuatan laporan. Pembuatan laporan dilakukan untuk dokumentasi semua yang telah dilakukan mulai dari awal sampai akhir, agar penelitian ini dapat berguna bagi orang lain.

BAB 4 ANALISIS KEBUTUHAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisis kebutuhan Sistem Deteksi Gas dengan *Arduino Mega2560* dan Sensor Turbin. Analisis kebutuhan terdiri dari penjelasan kebutuhan fungsional dan non-fungsional. Untuk media implementasi akan dibagi menjadi dua, yaitu perangkat lunak dan perangkat keras.

4.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah deskripsi fitur atau layanan yang harus disediakan oleh sistem, dan bagaimana sistem akan bereaksi pada *input* tertentu serta bagaimana perilaku sistem pada situasi tertentu. Sedangkan kebutuhan fungsional *user* merupakan pernyataan level tinggi dari apa yang seharusnya dilakukan sistem tetapi kebutuhan fungsional sistem menggambarkan layanan sistem secara detail seperti dijelaskan pada Tabel 4.1.

4.1.1 Fitur – Mengukur Aliran Gas

Sistem deteksi gas harus dapat melakukan pembacaan dan pengukuran nilai aliran gas yang lewat. Dalam melakukan pembacaan, nilai akan diukur menggunakan satuan *milliliter per second (mL/s)*. Pembacaan dan pengukuran nilai dilakukan secara *real-time* yang ditampilkan setiap 5 detik sekali. Oleh karena itu, sistem deteksi gas membutuhkan sensor turbin.

4.1.2 Fitur – Mengukur Suhu Gas

Sistem deteksi gas harus dapat melakukan pembacaan dan pengukuran nilai suhu gas yang lewat. Dalam melakukan pembacaan, nilai akan diukur menggunakan satuan derajat *celcius* atau *fahrenheit*. Pembacaan dan pengukuran nilai dilakukan secara *real-time* yang ditampilkan setiap 5 detik sekali. Oleh karena itu, sistem deteksi gas membutuhkan sensor MPX10.

4.1.3 Fitur – Mengukur Tekanan Gas

Sistem deteksi gas harus dapat melakukan pembacaan dan pengukuran nilai tekanan gas yang lewat. Dalam melakukan pembacaan, nilai akan diukur menggunakan satuan derajat *kpa (kilo pascal)*. Pembacaan dan pengukuran nilai dilakukan secara *real-time* yang ditampilkan setiap 5 detik sekali. Oleh karena itu, sistem deteksi gas membutuhkan sensor MPX10.

4.1.4 Fitur – Mengirim Data dengan Modul *Ethernet*

Sistem deteksi gas harus dapat melakukan pengiriman data dari hasil pembacaan dan pengukuran nilai gas. Dalam melakukan pengiriman, data akan dikirim menggunakan modul komunikasi *Ethernet* sebagai modul komunikasi utama (primer). Pengiriman data dilakukan secara *real-time* yang ditampilkan setiap 5 detik sekali. Oleh karena itu, sistem deteksi gas membutuhkan *Arduino Ethernet Shield*.

4.1.5 Fitur – Mengirim Data dengan Modul GSM

Sistem deteksi gas harus dapat melakukan pengiriman data dari hasil pembacaan dan pengukuran nilai gas. Dalam melakukan pengiriman, data akan dikirim menggunakan modul komunikasi GSM sebagai modul komunikasi cadangan (sekunder), ketika modul komunikasi utama tidak dapat mengirimkan data. Pengiriman data dilakukan secara *real-time* yang ditampilkan setiap 5 menit sekali. Oleh karena itu, sistem deteksi gas membutuhkan *Arduino GSM Shield*.

4.1.6 Fitur – Melakukan *Switching* Modul Komunikasi

Sistem deteksi gas harus dapat mekanisme pengiriman data ketika salah satu modul komunikasi tidak berfungsi. Proses ini disebut sebagai *switching*, dimana masing-masing modul komunikasi saling melakukan *backup* dalam melakukan pengiriman data. Kondisi terbaik adalah menggunakan modul komunikasi utama, ketika *Ethernet Shield* tidak berfungsi maka sistem secara otomatis mengirimkan data menggunakan *GSM Shield*. Namun, ketika modul komunikasi utama sudah dapat berfungsi, maka akan kembali menggunakan *Ethernet Shield*.

4.1.7 Fitur – Menampilkan Data Hasil Pengukuran

Sistem deteksi gas harus dapat menampilkan data hasil pengukuran. Data ini akan ditampilkan menggunakan *personal computer (laptop atau desktop pc)* menggunakan modul komunikasi *Ethernet Shield*. Namun, ketika menggunakan modul komunikasi *GSM Shield*, data akan dikirimkan kepada *handphone*.

4.1.8 Fitur – Mengirimkan Data secara Berkala

Sistem deteksi gas harus dapat mengirimkan data secara berkala. Hal ini dimaksudkan agar sistem deteksi gas dapat melakukan pembacaan dan pengukuran nilai mendekati kondisi nyata dilapangan (PT. PGN). Pengiriman data akan ditampilkan setiap 5 detik sekali dengan modul komunikasi *Ethernet Shield* dan 5 menit sekali untuk modul komunikasi *GSM Shield*.

Tabel 4.1 Fitur sistem deteksi gas

No.	Feature	Stimulus	Response
1.	Mengukur Aliran Gas	- Ada aliran gas yang melewati sensor turbin	- Sensor turbin akan berputar karena terkena aliran gas - Tampilan nilai ukur aliran gas
2.	Mengukur Suhu Gas	- Ada aliran gas yang melewati sensor suhu	- Tampilan nilai ukur suhu gas

			- Sensor suhu akan mengukur nilai
3.	Mengukur Tekanan Gas	- Ada aliran gas yang melewati sensor tekanan	- Tampilan nilai ukur tekanan gas - Sensor tekanan akan mengukur nilai
4.	Mengirimkan Data dengan Modul <i>Ethernet</i>	- Modul <i>Ethernet Shield</i> berfungsi	- Mengirimkan nilai aliran, suhu, dan tekanan gas untuk ditampilkan
5.	Mengirimkan Data dengan Modul GSM	- Modul <i>Ethernet Shield</i> tidak berfungsi - Modul <i>GSM Shield</i> berfungsi	- Mengirimkan nilai aliran, suhu, dan tekanan gas kepada <i>handphone</i>
6.	Melakukan <i>Switching</i> Modul Komunikasi	- Modul <i>Ethernet Shield</i> tidak berfungsi dan Modul <i>GSM Shield</i> berfungsi - Modul <i>Ethernet Shield</i> berfungsi kembali dan Modul <i>GSM Shield</i> berfungsi atau tidak berfungsi	- Mengubah modul komunikasi pengiriman data dari <i>Ethernet</i> ke GSM - Mengubah modul komunikasi pengiriman data dari GSM ke <i>Ethernet</i>
7.	Menampilkan Data Hasil Pengukuran	- Modul komunikasi berfungsi (<i>Ethernet</i> dan/atau <i>GSM Shield</i>)	- Menampilkan data hasil pembacaan dan pengukuran oleh sensor gas

8.	Mengirimkan Data secara Berkala	- Modul komunikasi berfungsi (<i>Ethernet</i> dan/atau <i>GSM Shield</i>)	- Melakukan pengiriman data 5 detik sekali untuk <i>Ethernet Shield</i> - Melakukan pengiriman data 5 menit sekali untuk <i>GSM Shield</i>
----	---------------------------------	---	---

4.2 Kebutuhan Non-Fungsional

Kebutuhan non-fungsional adalah batasan layanan atau fungsi yang ditawarkan sistem seperti batasan waktu, batasan pengembangan proses, standarisasi. Kebutuhan non-fungsional sistem deteksi gas lebih kritis daripada kebutuhan fungsional. Jika tidak dapat bertemu, sistem menjadi tidak berguna.

4.2.1 Availability

Sistem deteksi gas harus memenuhi kebutuhan *availability* (ketersediaan). Sistem ini akan dapat menampilkan hasil pengukuran dan pembacaan secara *real-time*. *Real-time* yang dimaksud adalah dapat selalu membaca dan mengukur nilai gas yang lewat pada pipa.

4.2.2 Mobility

Sistem deteksi gas harus memenuhi kebutuhan *mobility* (mobilitas). Sistem ini akan dapat menampilkan hasil pengukuran dan pembacaan dengan menggunakan *handphone*. Ketika sistem menggunakan modul komunikasi *GSM Shield*, maka data akan dikirim kepada *user* melalui *handphone*.

4.2.3 Reliability

Sistem deteksi gas harus memenuhi kebutuhan *reliability* (kehandalan). Sistem ini akan dapat digunakan selama 24 jam penuh untuk melakukan pembacaan dan pengukuran nilai gas.

4.2.4 Safety

Sistem deteksi gas harus memenuhi kebutuhan *safety* (keselamatan). Sistem ini tidak menggunakan perangkat yang membahayakan. Sehingga dalam penggunaannya, tidak memberikan risiko untuk *user*.

4.2.5 Security

Sistem deteksi gas harus memenuhi kebutuhan *security* (keamanan). Sistem ini hanya akan dapat menampilkan hasil pengukuran dan pembacaan menggunakan *laptop* atau *desktop pc* ketika menggunakan modul komunikasi *Ethernet Shield*.

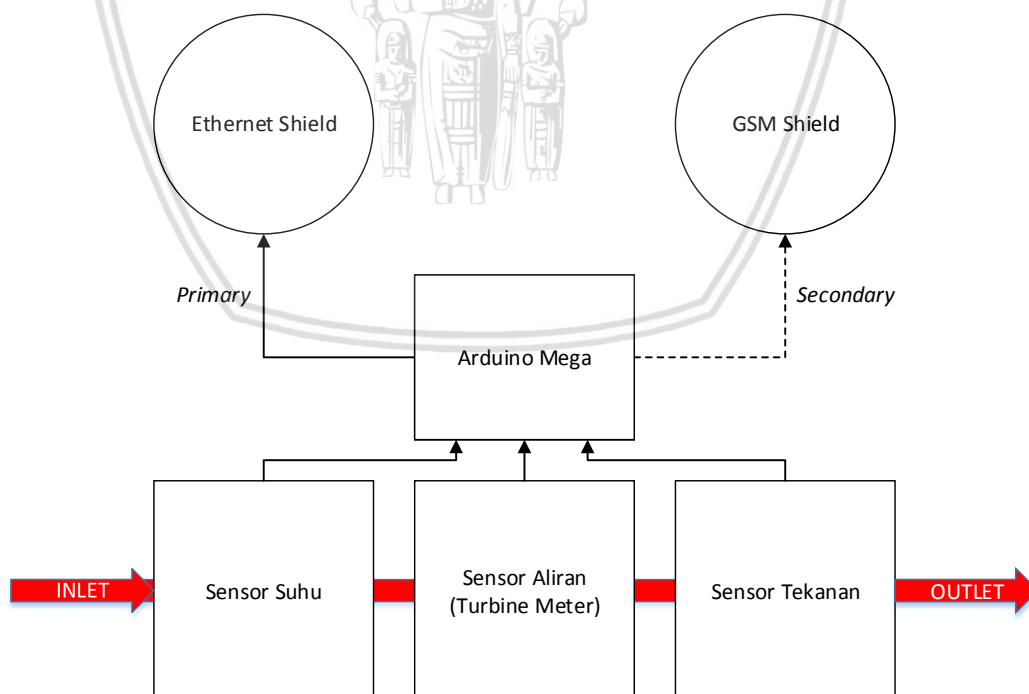
BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dan implementasi Sistem Deteksi Gas dengan *Arduino Mega2560* dan Sensor Turbin yang telah didapat dari analisis kebutuhan. Implementasi terdiri dari penjelasan lingkungan, batasan, dan proses implementasi. Untuk media implementasi akan dibagi menjadi dua, yaitu perangkat lunak dan perangkat keras.

5.1 Perancangan Sistem

Sistem baru yang ditawarkan seperti pada gambar 5.1 adalah mengganti *Flow Computer* pada PT. PGN menjadi *Arduino Mega2560* yang menggunakan dua modul komunikasi. Modul komunikasi akan saling bekerja bergantian, sesuai dengan prioritas dari shield tersebut. Pada penelitian ini, modul komunikasi dengan prioritas utama adalah *Ethernet Shield*, sedangkan yang menjadi *backup* ialah *GSM Shield*.

Arduino akan didukung dengan tiga sensor sebagai alat ukur untuk membaca nilai aliran, suhu, dan tekanan gas yang lewat pada pipa gas. Ketiga sensor ini akan bekerja secara sinkron dengan satuan waktu yang sama. Pertama-tama sensor akan mengamati kondisi pipa gas. Kemudian dikirimkan menggunakan kabel 4-20 mA menuju *Flow Computer*. Nilai yang diterima *Flow Computer* kemudian dikonversi menjadi nilai BTU. Modul komunikasi akan mengirimkan data-data tersebut menuju MCS yang akan diteruskan ke kantor pusat di Jakarta.

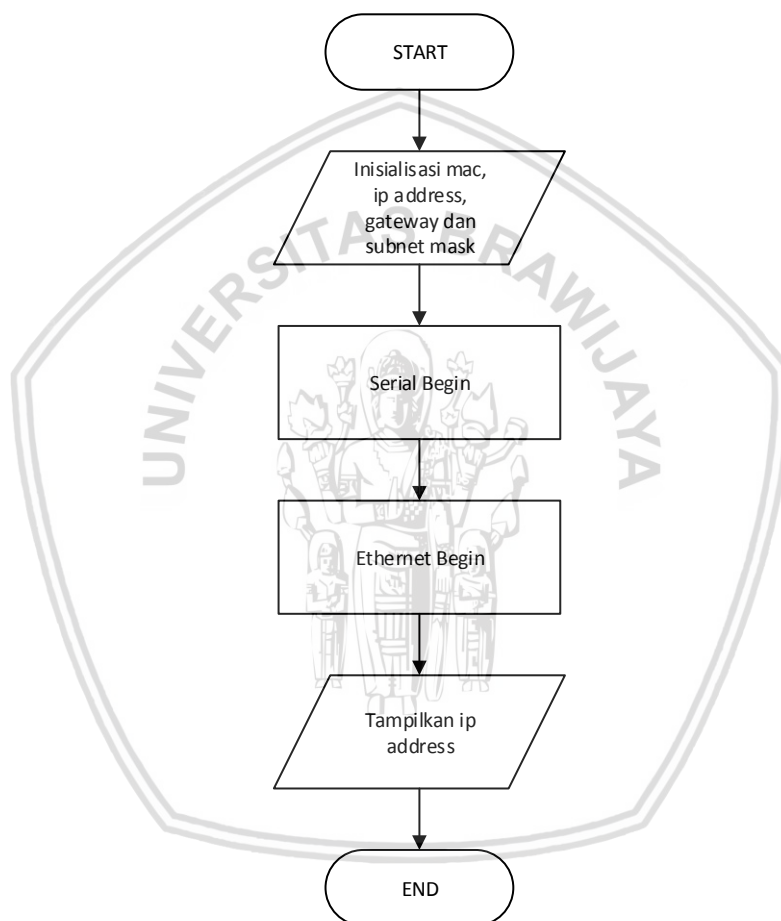


Gambar 5.1 Rancangan sistem

5.2 Perancangan Perangkat Lunak

5.2.1 Inisialisasi *Ethernet*

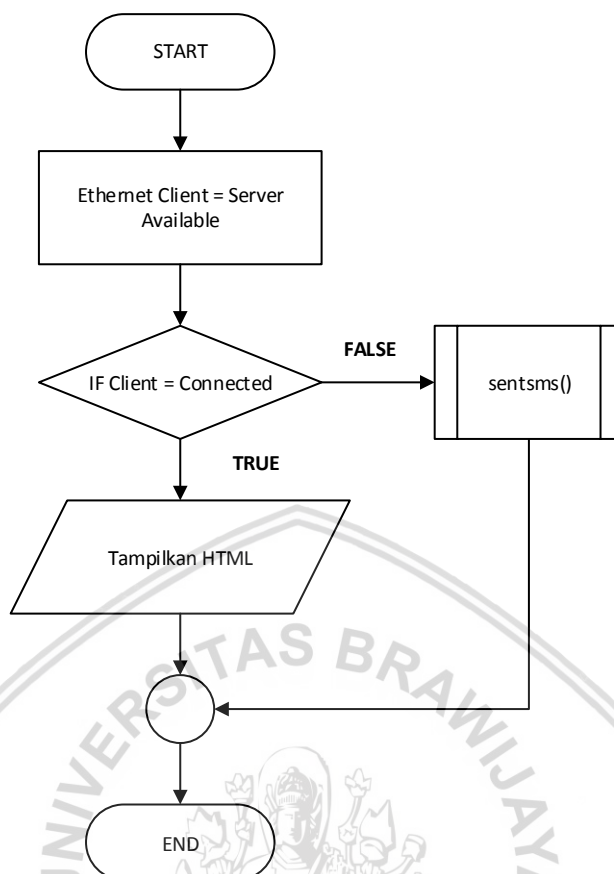
Proses inisialisasi *ethernet* dijelaskan pada *flowchart* Gambar 5.2. Pertama-tama *Ethernet* akan melakukan cek apakah *server* dalam kondisi saling berkomunikasi dengan *client* atau tidak. Kemudian akan melakukan *serial begin* pada *baud rate* 38400. Inisialisasi IP, *Mac Address*, *Gateway*, dan *Subnet Mask* akan dilakukan secara manual. Kemudian pada *serial monitor* akan muncul IP *Address* yang sudah ditentukan, dan melalui PC akan mengakses *ethernet* menggunakan alamat IP tersebut.



Gambar 5.2 *Flowchart* Inisialisasi *Ethernet*

5.2.2 *Ethernet* Mengirim Data

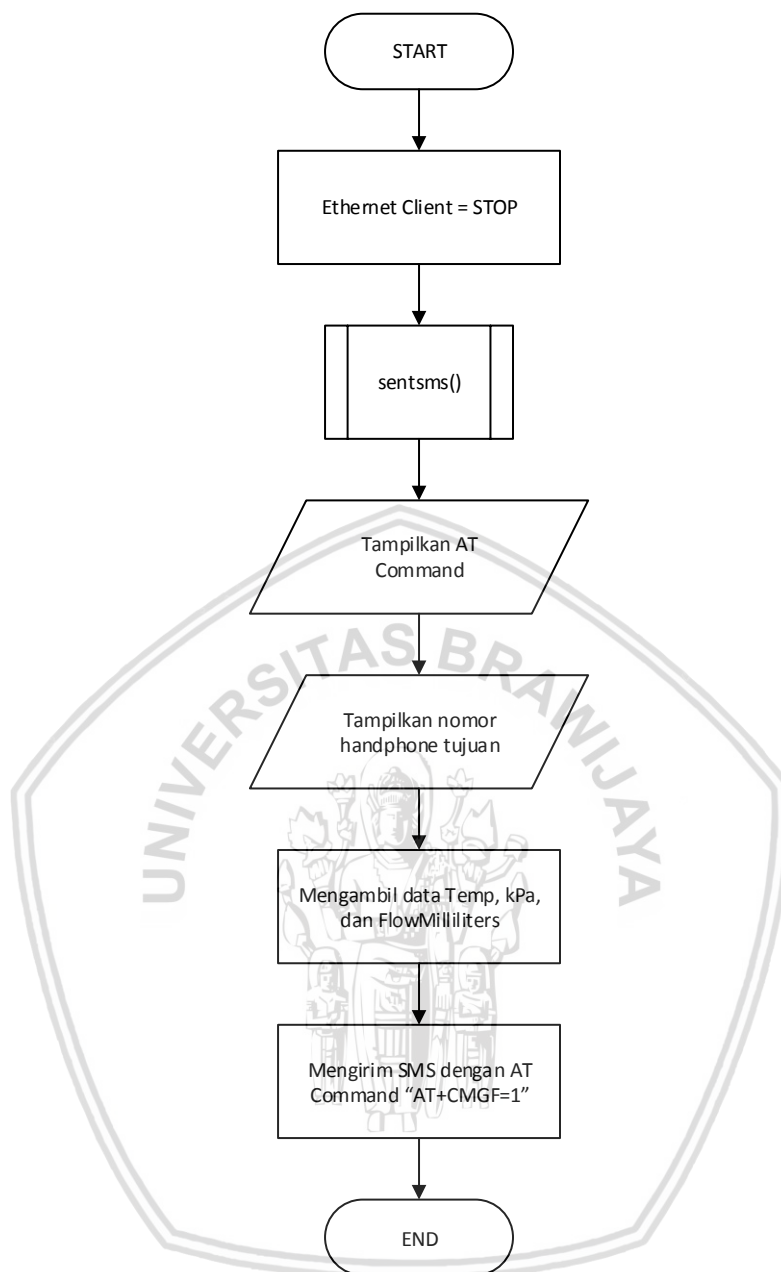
Proses inisialisasi *ethernet* mengirim data dijelaskan pada *flowchart* Gambar 5.3. Pertama-tama *Ethernet* akan melakukan cek apakah *server* dalam kondisi saling berkomunikasi dengan *client* atau tidak. Jika *client* dan *server* saling berkomunikasi, maka akan menampilkan HTML *Code* yang sudah dituliskan pada baris program. Baris kode ini akan dijelaskan pada sub bab implementasi. Jika *client* dan *server* tidak saling berkomunikasi, maka akan langsung menuju fungsi *sentsms()*, dimana fungsi ini berfungsi mengirimkan data menggunakan GSM *Shield*.



Gambar 5.3 Flowchart Ethernet Mengirimkan Data

5.2.3 GSM Mengirim Data

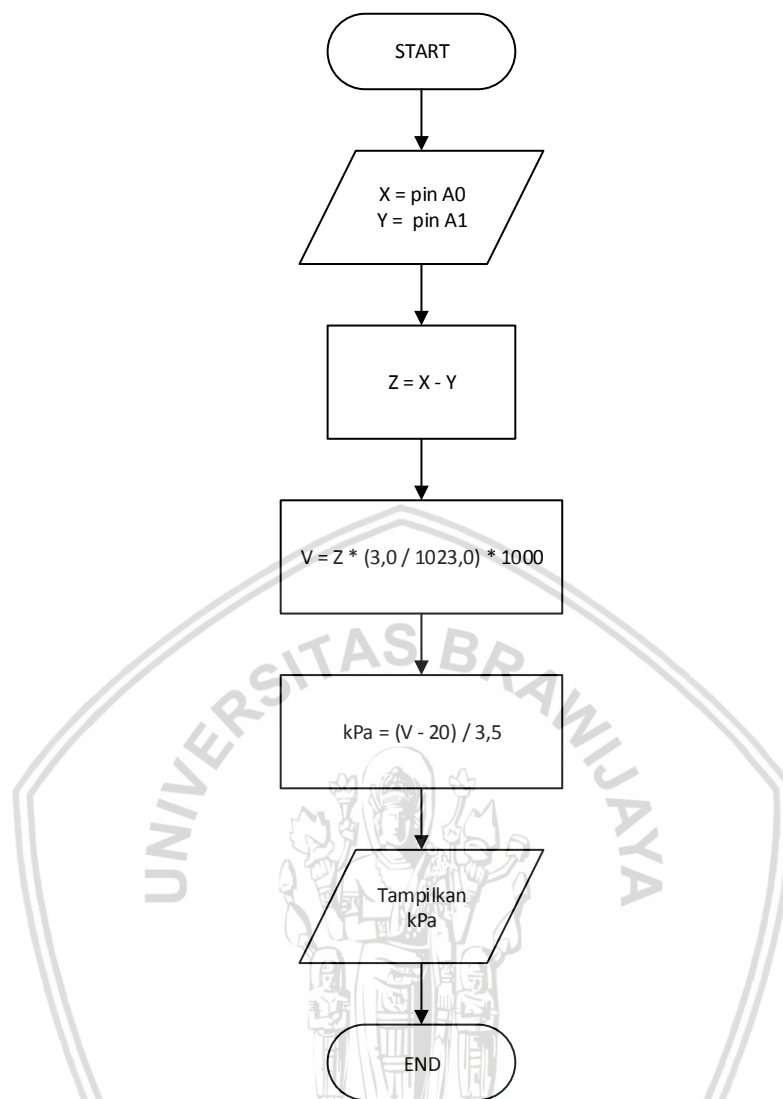
Proses *GSM* mengirim data dijelaskan pada *flowchart* Gambar 5.4. Pertama-tama *GSM* akan melakukan cek apakah *server* dalam kondisi saling berkomunikasi dengan *client* atau tidak. Jika *client* dan *server* tidak saling berkomunikasi, maka akan menjalankan fungsi *sentsms()*. Fungsi ini akan menggunakan *AT command* sebagai fungsi untuk mengirimkan data menggunakan SMS.



Gambar 5.4 *Flowchart* GSM Mengirim Data

5.2.4 Membaca Nilai Tekanan

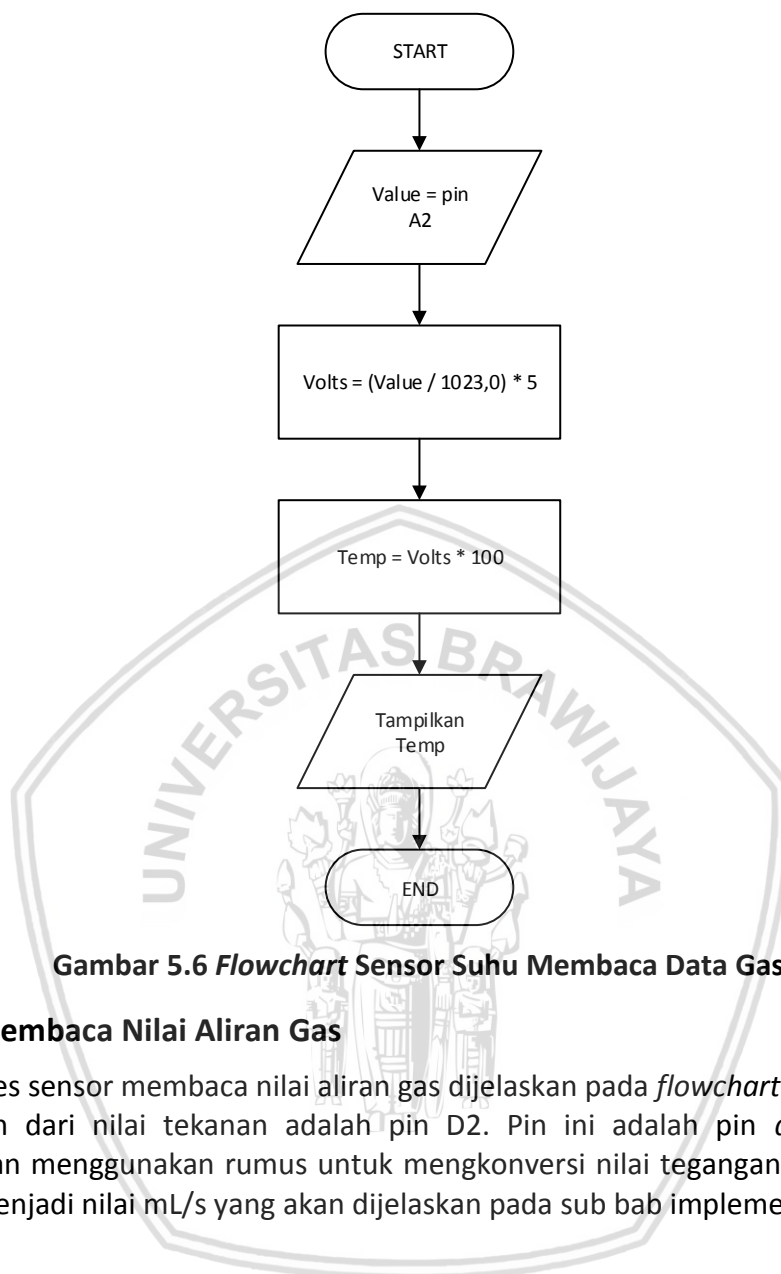
Proses sensor membaca nilai tekanan gas dijelaskan pada *flowchart* Gambar 5.5. Masukan dari nilai tekanan adalah pin A0 dan pin A1. Kedua pin ini adalah pin *analog input*. Kemudian menggunakan rumus untuk mengkonversi nilai tegangan yang masuk (*Volt*) menjadi nilai kPa yang akan dijelaskan pada sub bab implementasi.



Gambar 5.5 *Flowchart* Sensor Tekanan Membaca Data Gas

5.2.5 Membaca Nilai Suhu

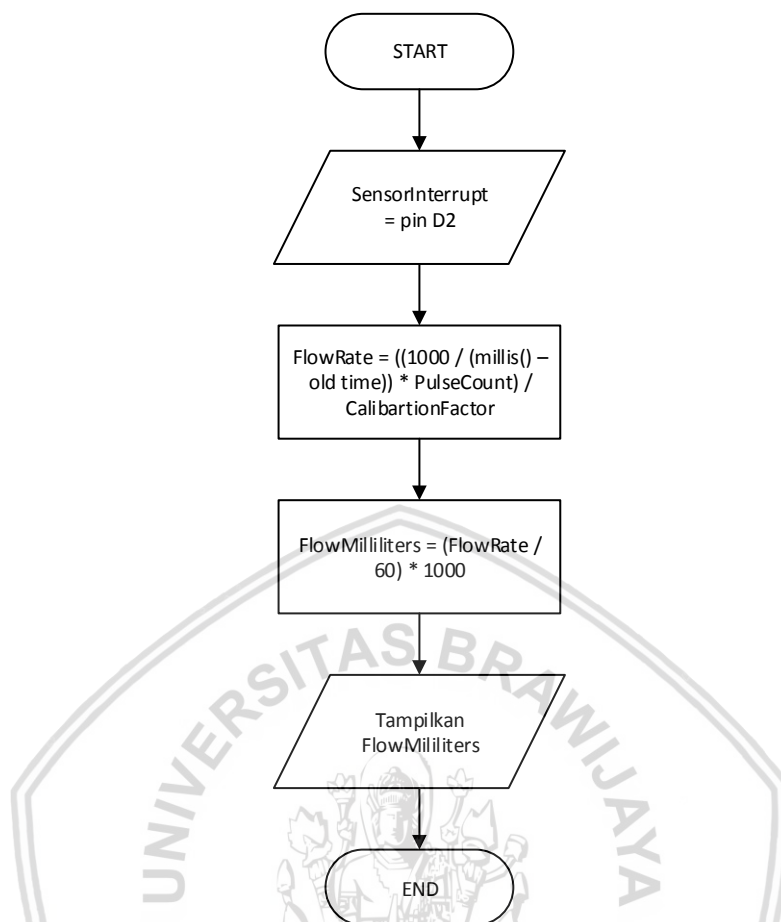
Proses sensor membaca nilai suhu gas dijelaskan pada *flowchart*. Masukan dari nilai suhu adalah pin A2. Pin ini adalah pin *analog input*. Kemudian menggunakan rumus untuk mengkonversi nilai tegangan yang masuk (*Volt*) menjadi nilai *celcius* yang akan dijelaskan pada sub bab implementasi.



Gambar 5.6 *Flowchart* Sensor Suhu Membaca Data Gas

5.2.6 Membaca Nilai Aliran Gas

Proses sensor membaca nilai aliran gas dijelaskan pada *flowchart* Gambar 5.7. Masukan dari nilai tekanan adalah pin D2. Pin ini adalah pin *digital input*. Kemudian menggunakan rumus untuk mengkonversi nilai tegangan yang masuk (*Volt*) menjadi nilai mL/s yang akan dijelaskan pada sub bab implementasi.



Gambar 5.7 Flowchart Sensor Aliran Membaca Data Gas

5.3 Batasan Implementasi

Dalam implementasi sistem deteksi gas, terdapat beberapa batasan. Batasan terjadi karena faktor-faktor tertentu. Berikut beberapa batasan dalam penelitian ini:

1. Gas sebagai media uji coba

Dalam implementasi sistem deteksi gas ini, tidak menggunakan gas alam sebagaimana dilakukan pada PGN. Hal ini disebabkan gas alam tidak dapat diakomodasi dan berbahaya dalam proses simulasi.

2. Suhu yang dideteksi

Dalam implementasi sistem deteksi gas ini, tidak menggunakan suhu udara yang panas seperti suhu pada gas alam. Hal ini disebabkan kemampuan sensor yang tidak memadai untuk pembacaan pada suhu tinggi dan sulit untuk membuat suhu udara yang panas.

3. Waktu pengiriman data

Dalam implementasi sistem deteksi gas ini, pengiriman data tidak dilakukan seperti pada PGN. Jika pada PGN, pengiriman data pembacaan meter dilakukan sehari dua kali, maka pada simulasi ini

menggunakan rentang waktu menit. Hal ini disebabkan untuk melakukan uji coba reliability atau ketahanan alat dalam melakukan fungsi sistemnya.

5.4 Lingkungan Implementasi

Lingkungan implementasi dibagi menjadi dua, yaitu perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Pada masing-masing sub-bab akan dijelaskan media perancangan dan implementasi.

5.4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak

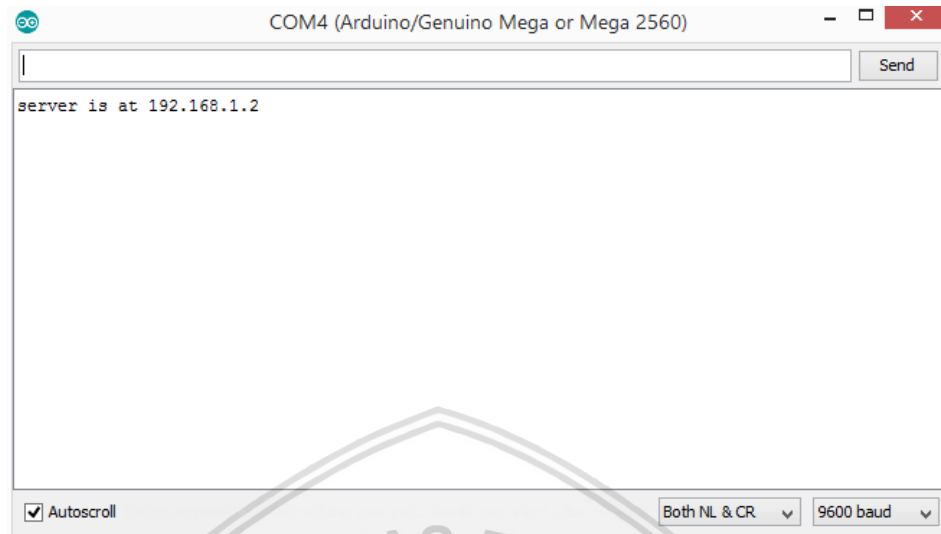
Software yang digunakan dalam implementasi adalah *Arduino IDE*. *Arduino IDE* adalah media pemrograman yang disiapkan oleh *Arduino*. *Integrated Development Environment* (IDE) berjalan pada sistem operasi *Windows* dan mendukung untuk berbagai jenis keping *Arduino*. Penggunaannya yang mudah dan *library* yang lengkap membuat *Arduino IDE* menjadi pilihan yang umum digunakan oleh *developer Arduino*. Bahasa pemrograman yang digunakan pada *Arduino IDE* adalah bahasa C.



Gambar 5.8 Tampilan *sketch Arduino IDE*

Arduino IDE juga dilengkapi dengan beberapa pendukung seperti *serial monitor*. Tool ini dapat digunakan untuk memberikan beberapa perintah seperti *serial command* untuk *Arduino*. Selain memberi perintah, *serial monitor* juga dapat

menjadi tampilan untuk keluaran (*output*) dari *Arduino*. Sebagai contoh, *serial monitor* dapat menampilkan nilai sensor yang dibaca oleh modul sensor.



Gambar 5.9 Tampilan *Arduino Serial Monitor*

5.4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras

Hardware yang digunakan dalam sistem deteksi gas adalah sebagai berikut:

1. *Arduino Mega2560*
Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroler untuk melakukan pembacaan nilai sensor dan mengirimkan nilai hasil pembacaan sensor.
2. *Arduino Ethernet Shield*
Ethernet Shield sebagai modul komunikasi menggunakan *Ethernet/RJ45*.
3. *Arduino GSM Shield*
GSM Shield sebagai modul komunikasi menggunakan *SIM card* yang menjadi *backup* pengiriman data menggunakan *SMS*.
4. Sensor aliran gas turbin
Sensor aliran gas menggunakan Sensor EGO yang berfungsi membaca aliran sesuai dengan metode *turbine meter*.
5. Sensor suhu gas
Sensor suhu gas menggunakan sensor *temperature* pada sensor EGO. Sensor EGO mempunyai satu buah sensor analog untuk membaca nilai suhu.
6. Sensor tekanan gas

Sensor tekanan gas menggunakan MPX10 yang membaca nilai tekanan udara sebelum dikompensasikan.

5.5 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras sistem deteksi gas seperti pada gambar 5.10 menggunakan komponen yang sudah disebutkan pada sub poin diatas. Masing-masing komponen akan dipasangkan pada papan triplek menyerupai studi kasus pada PGN. Masukan udara akan disebut sebagai *inlet*, sedangkan keluaran udara disebut sebagai *outlet*.

Tabel 5.1 Kebutuhan pin sistem deteksi gas

PIN	ETHERNET SHIELD	GSM SHIELD	SENSOR	
			MPX10	FLOW
D0				
D1				
D2				
D3				
D4				
D5				
D6				
D7				
D10				
D11				
D12				
D13				
A0				
A1				
A2				
A3				
A4				
VCC				
GND				

Inlet dimulai dengan menggunakan fan sebagai pendorong udara. Kemudian sensor yang membaca pertama kali adalah sensor tekanan baru diikuti oleh sensor suhu dan aliran udara. Dalam proses implementasi, *outlet* dapat dibiarkan terbuka ataupun tertutup tergantung proses pengujian dan analisis yang dibutuhkan.

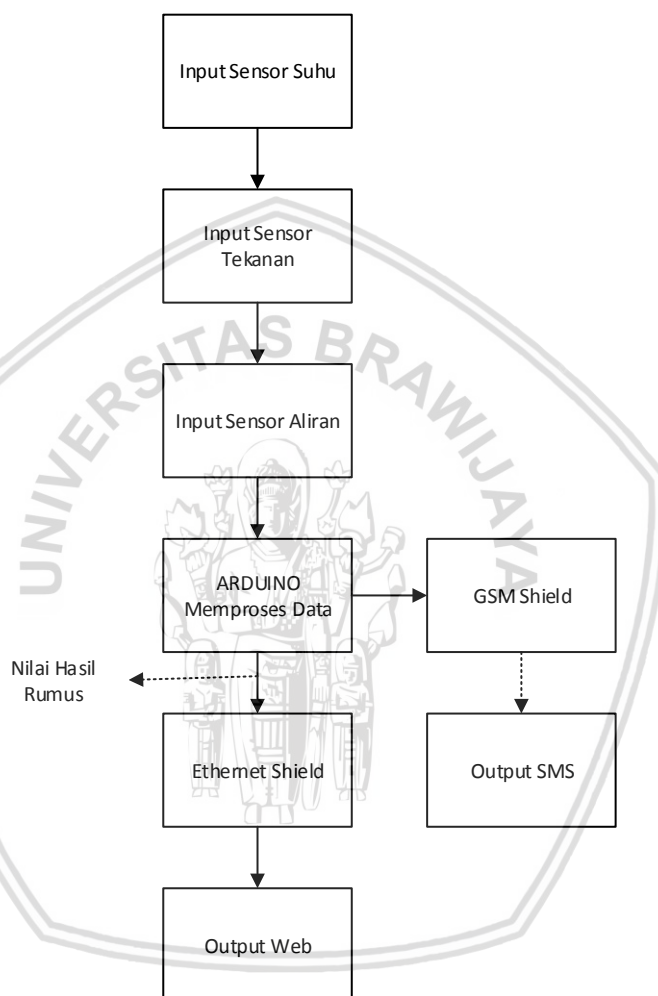


Berdasarkan Tabel 5.1 kebutuhan pin untuk masing-masing sensor dan shield sudah dapat dipenuhi oleh *Arduino Mega*. Sedangkan gambar 5.11 menggambarkan pemasangan pin pada *Arduino Mega*.



5.5.1 Alur Simulasi Deteksi Gas

Alur simulasi deteksi gas seperti pada gambar 5.12 akan dimulai dengan *inlet* menuju masing-masing sensor. Kemudian *Arduino* akan menerima dan melakukan kompensasi rumus sehingga didapat nilai masukan baru hasil kompensasi. Hasil kompensasi akan dikirimkan oleh modul *Ethernet*. Namun, jika *Ethernet* gagal mengirimkan data maka *GSM* akan mengambil alih modul komunikasi primer. Hasil akhir akan ditampilkan pada halaman *web*.



Gambar 5.12 Alur Simulasi Sistem

5.6 Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak sistem deteksi gas dibagi menjadi empat komponen utama, yaitu pembacaan sensor (*sensor reading*), pergantian modul komunikasi (*switching*), pengiriman data melalui *Ethernet* dan melalui *GSM Shield*.

Secara garis besar proses berjalannya program dimulai dengan pembacaan sensor. Masing-masing sensor akan melakukan pembacaan nilai baik sensor yang memiliki keluaran analog dan digital. Kemudian *Arduino* akan membaca dari pin yang sudah diinisialisasikan sebagai keluaran sensor, yaitu pin A0, A1, dan A2. Nilai

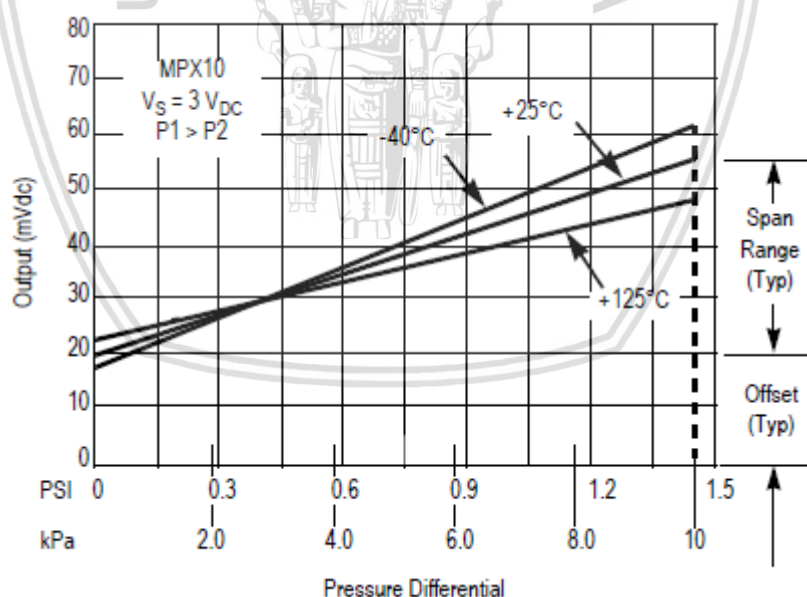
yang diterima oleh *Arduino* akan diberikan rumus kompensasi seperti sudah dijelaskan pada bab dua dasar teori.

Nilai yang sudah dikompensasikan akan diberikan pada variabel baru sebagai hasil kompensasi. Hasil kompensasi ini yang menjadi nilai akhir atau keluaran. Proses penampilan data akan dibedakan menjadi dua modul komunikasi. Modul komunikasi primer adalah *Ethernet*. Maka akan masuk pada proses pergantian modul komunikasi.

Proses pergantian modul komunikasi akan menentukan modul komunikasi mana yang digunakan. Jika hasil proses adalah *Ethernet*, maka proses selanjutnya memanggil proses pengiriman data melalui *Ethernet*. Namun, jika hasil proses adalah GSM, maka proses selanjutnya memanggil proses pengiriman data melalui GSM. *Output* hasil pembacaan sensor akan ditampilkan pada halaman *web*.

5.6.1 Proses Pembacaan Sensor (*Sensor Reading*)

Untuk memulai penelitian Implementasi Sistem Deteksi Gas Dengan *Arduino Mega2560* dan Sensor Turbin perlu melalui tahapan awal, yaitu proses pembacaan sensor. Pada tahapan ini sensor tekanan udara menggunakan MPX10. Masukan yang digunakan adalah pin A0 dan pin A1. Pin A0 dan A1 berasal dari Vout yang dicari selisih tegangannya. Sehingga, Vout akan memberikan nilai tegangan yang dikonversi menjadi kPa. Hal ini berdasarkan *datasheet* MPX10 seperti pada grafik gambar 5.13 dibawah ini.



Gambar 5.13 Grafik MPX10

Dari grafik tersebut akan ditemukan rumus seperti pada *Source Code* 1. Rumus ini adalah hasil pengurangan Vout dengan nilai tegangan *offset* lalu dibagi dengan nilai sensitifitas MPX10. Untuk nilai tegangan *offset* sesuai dengan *datasheet* adalah 20mV dan nilai dari sensitifitas transistor adalah 3,5mV/kPa. Sehingga dengan rumus ini maka hasil akhir adalah nilai kPa.

Source Code 1: Pembacaan Sensor Tekanan	
1	x = analogRead(A0);
2	y = analogRead(A1);
3	z = x - y;
4	v = z * (3.0/1023.0)*1000;
5	kpa = (v - 20)/3.5 ;

Kemudian untuk proses inisialisasi variable akan seperti pada *Source Code 2* dibawah ini. Untuk nilai masukan akan diberikan tipe data *integer*, sedangkan untuk perhitungan akhir rumus menggunakan tipe data *float*.

Source Code 2: Proses Inisialisasi Variable	
1	#include <SPI.h>
2	#include <Ethernet.h>
3	#include <Servo.h>
4	#include <SPI.h>
5	
6	int x;
7	int y;
8	int z;
9	float v;
10	float kpa;
11	
12	int value=0; //initializing variables
13	float volts=0.0;
14	float temp=0.0;
15	float tempF=0.0;
16	
17	byte statusLed = 13;
18	
19	byte sensorInterrupt = 0; // 0 = digital pin 2
20	byte sensorPin = 2;
21	
22	// The hall-effect flow sensor outputs approximately 4.5 pulses
23	per second per
24	// liter/minute of flow.
25	float calibrationFactor = 4.5;
26	
27	volatile byte pulseCount;
28	
29	float flowRate;
30	unsigned int flowMilliLiters;
31	unsigned long totalMilliLiters;
32	
33	unsigned long oldTime;

Source Code 5.3 merupakan potongan kode program yang melakukan pembacaan sensor aliran. Masukan dari nilai tekanan adalah pin D2. Pin ini adalah pin *digital input*. Kemudian menggunakan rumus untuk mengkonversi nilai tegangan yang masuk (*Volt*) menjadi nilai *mL/s*.

Source Code 3: Proses Pembacaan Sensor Aliran	
1	flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) /
2	calibrationFactor;
3	
4	// Note the time this processing pass was executed. Note that
5	because we've

6	<code>// disabled interrupts the millis() function won't actually be</code>
7	<code>incrementing right</code>
8	<code>// at this point, but it will still return the value it was</code>
9	<code>set to just before</code>
10	<code>// interrupts went away.</code>
11	<code>oldTime = millis();</code>
12	
13	<code>// Divide the flow rate in liters/minute by 60 to determine</code>
14	<code>how many liters have</code>
15	<code>// passed through the sensor in this 1 second interval, then</code>
16	<code>multiply by 1000 to</code>
17	<code>// convert to milliliters.</code>
18	<code>flowMilliLiters = (flowRate / 60) * 1000;</code>
19	
20	<code>totalMilliLiters += flowMilliLiters;</code>
21	
22	<code>unsigned int frac;</code>
23	
24	
25	<code>frac = (flowRate - int(flowRate)) * 10;</code>
26	
27	<code>// Reset the pulse counter so we can start incrementing again</code>
28	<code>pulseCount = 0;</code>
29	
30	<code>// Enable interrupt</code>
31	<code>attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);</code>
32	
33	

Source Code 4 merupakan potongan kode program yang melakukan pembacaan sensor suhu. Nilai suhu didapat dari masukan A2 yang berupa *analog input*. Kemudian nilai voltase akan dikonversikan menjadi nilai suhu *celcius*.

Source Code 4: Proses Pembacaan Sensor Suhu	
1	<code>value=analogRead(A2); //read from A0</code>
2	<code>volts=(value/1023.0)*5.0; //conversion to volts</code>
3	<code>temp= volts*100.0; //conversion to temp Celsius</code>
4	<code>tempF=temp*9/5+32; //conversion to temp Fahrenheit</code>
5	

5.6.2 Proses Pengiriman Data Melalui *Ethernet*

Tahapan sub-proses pengiriman data melalui *ethernet* dimulai dengan memanggil *sub-routine* dari *send ethernet*. Kemudian pada tahapan selanjut akan memasukan nilai dari hasil perhitungan kompensasi. *Input* nilai tersebut kemudian melalui proses pengiriman data. Alur dari sub-proses pengiriman data melalui *ethernet* ditunjukkan pada Source Code 5.

Source Code 5: Proses Pengiriman Data Melalui Ethernet	
1	<code>client.println("HTTP/1.1 200 OK");</code>
2	<code>client.println("Content-Type: text/html");</code>
3	<code>client.println("Refresh: 5");</code>
4	<code>client.println();</code>
5	<code>client.println("<HTML>");</code>
6	<code>client.println("<HEAD>");</code>
7	

```

8      client.println("<meta name='apple-mobile-web-app-
9      capable' content='yes' />");
10     client.println("<meta name='apple-mobile-web-app-
11     status-bar-style' content='black-translucent' />");
12     client.println("<link rel='stylesheet' type='text/css'
13     href='http://randomnerdtutorials.com/ethernetcss.css' />");
14     client.println("<TITLE>Sistem Deteksi Gas</TITLE>");
15     client.println("</HEAD>");
16     client.println("<BODY>");
17     client.println("<H1>SISTEM DETEKSI GAS</H1>");
18     client.println("<hr />");
19     client.println("<br />");
20     client.println("<H2>Hasil Pembacaan Sensor</H2>");
21     client.println("<br />");
22     client.println("<a href='\"/?buttonlon\\\"'>TEMP</a>");
23     for (int analogChannel = 0; analogChannel < 1;
24     analogChannel++) {
25         int sensorReading = analogRead(analogChannel);
26         client.print(temp);
27         client.println(" Celcius");
28         client.println("<br />");
29     }
30     client.println("<br />");
31     client.println("<br />");
32     client.println("<a href='\"/?buttonloff\\\"'>PRES</a>");
33     for (int analogChannel = 1; analogChannel < 2;
34     analogChannel++) {
35         int sensorReading = analogRead(analogChannel);
36         client.print(kpa);
37         client.println(" kpa");
38         client.println("<br />");
39     }
40     client.println("<br />");
41     client.println("<br />");
42     client.println("<a href='\"/?button2on\\\"'>FLOW</a>");
43     for (int analogChannel = 2; analogChannel < 3;
44     analogChannel++) {
45         int sensorReading = analogRead(analogChannel);
46         client.print(flowMilliLiters);
47         client.println(" mL/s");
48         client.println("<br />");
49     }
50     client.println("<br />");
51     client.println("<br />");
52     client.println("<a href='\"/?button2off\\\"'>Total
53     Flow</a>");
54     for (int digitalChannel = 8; digitalChannel < 9;
55     digitalChannel++) {
56         int sensorReading = digitalRead(digitalChannel);
57         client.println(totalMilliLiters);
58         client.println(" mL");
59     }
60     client.println("</BODY>");
61     client.println("</HTML>");

```

Source Code 5 diatas merupakan potongan kode program untuk mengirimkan data melalui *Ethernet*. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan *listening port*. Setelah itu jika koneksi sudah terjalin maka akan langsung dikirimkan melalui *server web*.

Tampilan halaman *web* akan direfresh setiap 5 detik sekali untuk melakukan pembacaan ulang pada sensor. Untuk waktu dapat diatur tergantung kebutuhan pengiriman data.

5.6.3 Proses Pengiriman Data Melalui GSM

Seperti halnya sub-proses pengiriman data melalui *ethernet*, proses pengiriman data melalui GSM diawali dengan *sub-routine send GSM*. Kemudian akan memasukan nilai hasil perhitungan kompensasi. Nilai yang telah dimasukan tersebut, kemudian akan masuk pada tahapan pengiriman data. Sub-proses ini akan ditunjukkan pada *Source Code 6*.

Source Code 6: Proses Inisialisasi GSM	
1	<code>for(int i = 0 ; i < 3; i++){</code>
2	<code>pinMode(gsmDriverPin[i],OUTPUT);</code>
3	<code>}</code>
4	<code>digitalWrite(5,HIGH); //Output GSM Timing</code>
5	<code>delay(1500);</code>
6	<code>digitalWrite(5,LOW);</code>
7	<code>digitalWrite(3,LOW); //Enable the GSM mode</code>
8	<code>digitalWrite(4,HIGH); //Disable the GPS mode</code>
9	<code>delay(2000);</code>
10	<code>// Serial.begin(9600); //set the baud rate</code>
11	<code>// delay(5000); //call ready</code>
12	<code>// delay(5000);</code>
13	<code>delay(5000);</code>

Source Code 6 diatas merupakan potongan kode program untuk mengirimkan data melalui GSM. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan *listening port* pada *serial*. Setelah itu jika koneksi sudah terjalin maka akan langsung dikirimkan melalui SMS.

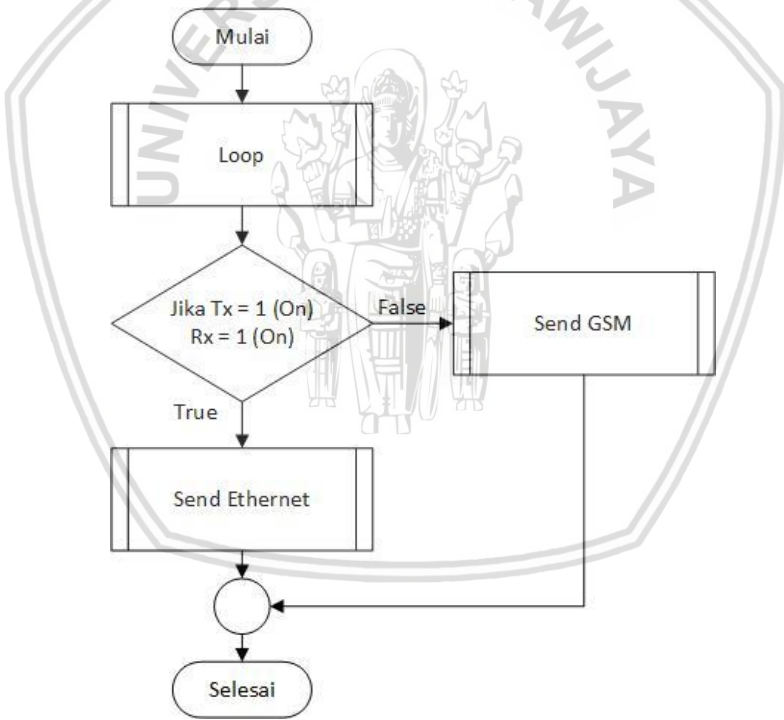
Source Code 7: Pengiriman SMS dengan GSM Shield	
1	<code>void sentsms()</code>
2	<code>{</code>
3	<code>Serial.println("AT"); //Send AT command</code>
4	<code>delay(2000);</code>
5	<code>Serial.println("AT");</code>
6	<code>delay(2000);</code>
7	<code>//Send message</code>
8	<code>Serial.println("AT+CMGF=1");</code>
9	<code>delay(1000);</code>
10	<code>Serial.println("AT+CMGS=\"082132194438\"); //Change the receiver</code>
11	<code>phone number</code>
12	<code>delay(1000);</code>
13	<code>Serial.print("Temp: "); //the message you want to send</code>
14	<code>Serial.println(temp);</code>
15	<code>Serial.print("Pres: "); //the message you want to send</code>
16	<code>Serial.println(kpa);</code>
17	<code>Serial.print("Flow: "); //the message you want to send</code>
18	<code>Serial.println(flowMilliLiters);</code>
19	<code>Serial.print("Total: "); //the message you want to send</code>
20	<code>Serial.println(totalMilliLiters);</code>
21	<code>delay(1000);</code>
22	<code>Serial.write(26);</code>

23	<code>while(1);</code>
24	<code>}</code>

Untuk isi teks SMS dari data yang dikirimkan akan dijelaskan pada potongan *Source Code 7*. Dalam hal ini kondisi pengiriman SMS akan dilakukan jika tidak bisa mengirimkan data menggunakan *Ethernet*.

5.6.4 Proses Pergantian Modul Komunikasi

Pada Gambar 5.4 menjelaskan tentang pergantian alur modul komunikasi yang didahului dengan proses *sub-routine looping*. Dari *sub-routine* tersebut akan didapatkan nilai *transmitter* dan *receiver*. Ketika *transmitter* (Tx) bernilai 1 dan *receiver* (Rx) bernilai 1, maka kondisi ini akan masuk pada kondisi *True*. Kondisi *true* akan menunjukkan proses yang dilalui dengan memanggil *sub-routine send ethernet*. Ketika *transmitter* (Tx) bernilai 0 dan *receiver* (Rx) bernilai 0, maka kondisi ini merupakan kondisi *False*. Pada kondisi *False* akan memproses *sub-routine send GSM*. Alur proses dari pergantian alur modul komunikasi ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5.14 Alur proses pergantian modul komunikasi

BAB 6 PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pembahasan Sistem Deteksi Gas dengan *Arduino Mega2560* dan Sensor Turbin yang telah didapat dari implementasi. Pada pembahasan terdiri dari strategi pengujian dan hasil pengujian dan analisis.

6.1 Strategi Pengujian

Setelah dilakukan pengujian terhadap kinerja dari sistem yang telah dirancang sebelumnya, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap sistem ini. Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai tertentu sehingga dapat dicapai penyelesaian masalah sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Pengujian dilakukan secara perblok kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan. Berikut langkah-langkah pengujian:

1. Pengujian Sensor Suhu
2. Pengujian Sensor Tekanan
3. Pengujian Sensor Aliran
4. Pengujian Pergantian Modul Komunikasi

Pada pengujian pergantian modul komunikasi akan dianalisis bagaimana keakuratan pengiriman data menggunakan *Ethernet* dan *GSM*. Sedangkan pengujian sensor dilakukan untuk mengecek hasil keluaran sensor yang terkompensasi.

6.2 Pengujian Sensor Suhu

6.2.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian sensor adalah untuk mengetahui bahwa sensor suhu dapat mendeteksi adanya suhu pada aliran gas yang lewat.

6.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sensor suhu dilakukan dengan melakukan deteksi nilai gas secara berkala dalam rentang waktu setengah jam dan dilakukan pada ruangan tertutup. Kemudian nilai suhu akan dicatat sesuai dengan nilai yang tampil pada halaman *web* Sistem Deteksi Gas.

6.2.3 Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan melakukan *upload* program pada *Arduino* yang secara khusus hanya membaca nilai sensor suhu pada pin A0. Pin A0 dibutuhkan sebagai masukan dari sensor suhu.

6.2.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada Tabel 6.1 didapat bahwa nilai sensor suhu dapat membaca nilai suhu yang lewat pada pipa aliran. Dikarenakan pengujian dilakukan

pada ruangan tertutup maka nilai suhu yang lewat tidak lebih besar dari 25°C. Nilai suhu dicatat sebanyak 10 kali selama setengah jam. Berikut tabel hasil pengujian nilai suhu:

Tabel 6.1 Hasil percobaan nilai suhu

Percobaan ke-	Nilai Suhu (°C)	Waktu (menit)
1	24.502	10.01
2	23.677	10.06
3	25.084	10.09
4	24.782	10.13
5	24.167	10.15
6	23.956	10.19
7	23.298	10.22
8	24.031	10.26
9	23.872	10.29
10	24.453	10.32

6.3 Pengujian Sensor Tekanan

6.3.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian sensor adalah untuk mengetahui bahwa sensor Tekanan dapat mendeteksi adanya tekanan udara pada aliran gas yang lewat.

6.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sensor tekanan dilakukan dengan melakukan deteksi nilai gas secara berkala dalam rentang waktu setengah jam dan dilakukan pada ruangan tertutup. Kemudian nilai tekanan akan dicatat sesuai dengan nilai yang tampil pada halaman *web* Sistem Deteksi Gas.

6.3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan melakukan *upload* program pada *Arduino* yang secara khusus hanya membaca nilai sensor tekanan pada pin A1,A2, dan A3. Ketiga pin ini dibutuhkan sebagai masukan dari sensor tekanan.

6.3.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada Tabel 6.2 didapat bahwa nilai sensor tekanan dapat membaca nilai tekanan yang lewat pada pipa aliran. Dikarenakan pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dan kondisi kota Malang yang berada pada 600m

dpl maka nilai tekanan yang lewat secara umum berada pada rentang 100kPa atau sebanding dengan 14.7 psi. Nilai tekanan dicatat sebanyak 10 kali selama setengah jam. Berikut tabel hasil pengujian nilai tekanan:

Tabel 6.2 Hasil percobaan nilai tekanan

Percobaan ke-	Nilai Tekanan (kpa)	Waktu (menit)
1	101.053	12.01
2	100.828	12.05
3	101.126	12.09
4	102.075	12.12
5	101.956	12.16
6	101.655	12.19
7	101.539	12.22
8	101.721	12.26
9	101.142	12.29
10	100.891	12.31

6.4 Pengujian Sensor Aliran

6.4.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian sensor adalah untuk mengetahui bahwa sensor Aliran dapat mendeteksi adanya aliran udara pada aliran gas yang lewat.

6.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sensor aliran dilakukan dengan melakukan deteksi nilai gas secara berkala dalam rentang waktu setengah jam dan dilakukan pada ruangan tertutup. Kemudian nilai tekanan akan dicatat sesuai dengan nilai yang tampil pada halaman *web* Sistem Deteksi Gas.

6.4.3 Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan melakukan *upload* program pada *Arduino* yang secara khusus hanya membaca nilai sensor aliran pada pin D1. Pin D1 ini dibutuhkan sebagai masukan dari sensor aliran.

6.4.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada Tabel 6.3 didapat bahwa nilai sensor aliran dapat membaca nilai tekanan yang lewat pada pipa aliran. Dikarenakan pengujian

dilakukan pada ruangan tertutup dan menggunakan kipas dinamo *motor DC 1200 rpm* maka nilai aliran yang lewat secara umum berada pada rentang 20-30 mL/s. Nilai aliran dicatat sebanyak 10 kali selama setengah jam. Berikut tabel hasil pengujian nilai aliran:

Tabel 6.3 Hasil percobaan nilai aliran

Percobaan ke-	Nilai Aliran gas (mL/s)	Waktu (menit)
1	22	9.01
2	24	9.04
3	21	9.07
4	25	9.11
5	22	9.13
6	24	9.16
7	23	9.19
8	23	9.23
9	22	9.27
10	23	9.31

6.5 Pengujian Pergantian Modul Komunikasi

6.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian pergantian modul komunikasi adalah untuk melihat modul komunikasi *Ethernet* dan GSM dapat berpindah secara langsung.

6.5.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara membaca nilai sensor dan dikirim menggunakan *Ethernet* lalu secara tiba-tiba kabel *Ethernet* akan dicopot sehingga akan dikirimkan melalui GSM.

6.5.3 Pelaksanaan Pengujian

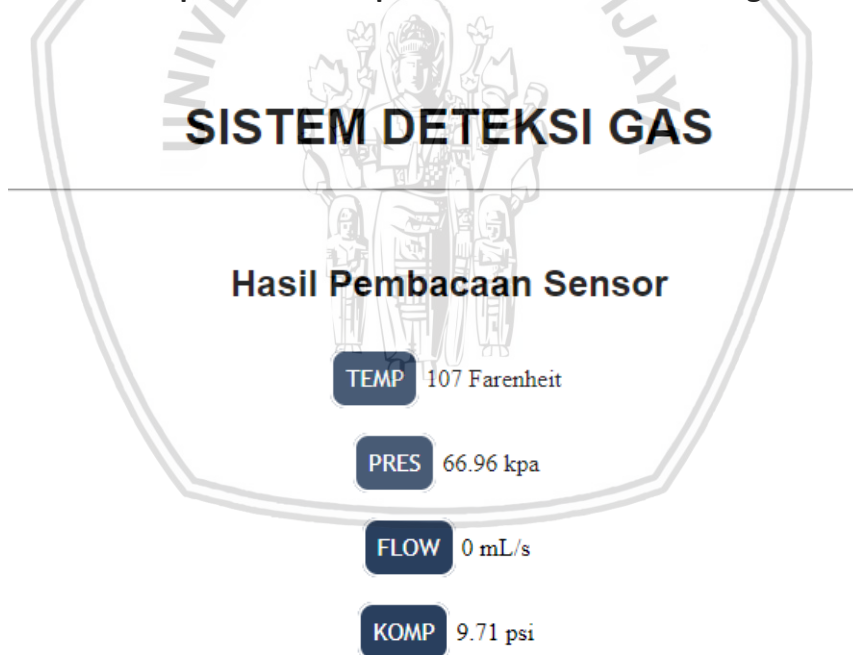
Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan melakukan upload program pada *Arduino* yang melakukan pembacaan sensor dan pengiriman data baik dengan modul komunikasi *Ethernet* maupun GSM.

6.5.4 Hasil Pengujian

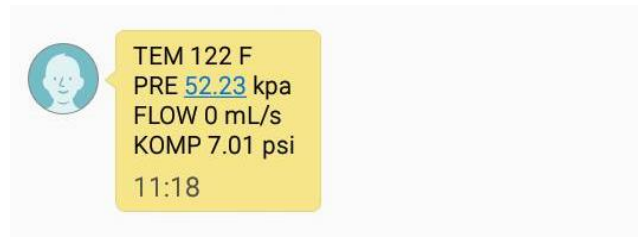
Hasil pengujian didapat bahwa nilai sensor berhasil dikirimkan melalui dua modul. Namun, perbedaan membaca nilai dari masing-masing modul komunikasi menyebabkan harus dianalisis kembali keakuratan data pengiriman



Gambar 6.1 Tampilan halaman pembacaan nilai sensor dengan Ethernet



Gambar 6.2 Tampilan nilai sensor pada halaman web



Gambar 6.3 Tampilan halaman pembacaan nilai sensor menggunakan GSM



BAB 7 PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, implementasi dan pengujian yang telah dilakukan maka menghasilkan kesimpulan:

1. Sistem ini terdiri dari dua modul komunikasi, yaitu *Ethernet Shield* dan *GSM Shield*. Kedua modul komunikasi ini dapat digunakan secara bersamaan sebagai *primary* dan *secondary* pengiriman data.
2. Berdasarkan pengujian, sensor suhu dapat membaca nilai suhu yang lewat melalui pipa gas, namun dikarenakan pengujian berada di ruang tertutup maka nilai yang lewat berkisar antara 23-24°C. Sensor tekanan berhasil melakukan pembacaan nilai tekanan udara yang lewat. Nilai tekanan berkisar antara 100,828 – 102,075 kPa. Nilai ini di dapat berdasarkan pengujian secara berkala. Aliran gas yang lewat dibaca menggunakan sensor turbin. Sensor ini berhasil membaca nilai sensor dengan rentang nilai 21-25 mL/s. Pengujian menggunakan motor DC 1200 rpm.
3. Modul komunikasi berhasil melakukan pergantian komunikasi secara tepat dan nilai yang dikirim oleh masing-masing modul komunikasi tidak berbeda secara jauh. Perbedaan terjadi karena perubahan waktu dan kondisi didalam pipa gas, namun nilai tidak berubah secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa baik menggunakan modul komunikasi *Ethernet* ataupun *GSM*, sistem dapat memberikan nilai sensor dengan hasil sama.

7.2 Saran

Beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk kesempurnaan sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian dengan menggunakan gas alam agar penerapan sistem ini dapat dilakukan secara utuh dan implementasi dapat lebih sempurna.
2. Implementasi dilakukan dengan cara *real-time* baiknya dapat diakses secara *online*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino, n.d. Datasheet Arduino Ethernet Shield W5100. *Ethernet Shield W5100*.
- Arduino, n.d. Datasheet *Arduino Mega 2560*. *Arduino Mega 2560*.
- Barrett, S. F., 2013. *Arduino Microcontroller Processing for Everyone*. 3rd ed. s.l.:Mitchell Thornton.
- DFRobot, n.d. Datasheet GSM/GPRS/GPS Shield SIM900. *GSM/GPRS/GPS Shield SIM900*.
- EGO, n.d. Datasheet Flow Meter EGO-A-7.5Q. *Flow Meter EGO-A-7.5Q*.
- Freescale Semiconductor, n.d. Datasheet MPX2053. *MPX2053*.
- International Energy Agency, 2005. *Energy Statistic Manual*. s.l.:s.n.
- PricewaterhouseCoopers, 2010. *Oil and Gas In Indonesia - Investment and Taxation Guide*. s.l.:s.n.
- PT. PGN, 2011. *Arsitektur Integrated Corporate Gas Management System*. Jakarta: PT. PGN.
- Zaghloul, D. M. S., 2014. *GSM-GPRS Arduino Shield (GS-001) with SIM 900 chip module in wireless data transmission system for data acquisition and control of power induction furnace*.